



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**REINGENIERÍA DEL ESQUEMA DE
TELEPROTECCIÓN PARA LA RED
DE TRANSMISIÓN DE 765kV DEL SISTEMA
ELÉCTRICO NACIONAL.**

Autores: Herrera Andreina
C.I:23.508.075
Zanotti Humberto
CI: 23.408.285

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**REINGENIERÍA DEL ESQUEMA DE TELEPROTECCIÓN PARA LA RED
DE TRANSMISIÓN DE 765kV DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES.**

Autores: Herrera Andreina
C.I:23.508.075
Zanotti Humberto
CI: 23.408.285
Tutor: Ing. Jesús Rodríguez

San Diego, octubre 2019



FI-E -005-2019-2CE

Valencia, 19 de Julio de 2019

Ciudadanos:
Andreina Herrera
C.I:23.508.075
Humberto Zanotti
C.I:23.408.285
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2019 de fecha 19-07-2019 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **REINGENIERÍA DEL ESQUEMA DE TELEPROTECCIÓN PARA LAS RED DE TRANSMISIÓN DE 765KV DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL** Presentado por usted como requisitos para optar al título de Ingeniero de Telecomunicaciones.

Se ratifica la designación del Ing. Jesús Rodríguez C.I: 4.475.349 y la Ing. Alicia De Pizzela C.I: 4.598.880 como Tutores Académicos y Metodológicos que los asesoraran en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Luis Lira
Decano de la Facultad de Ingeniería



e.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

LI/le

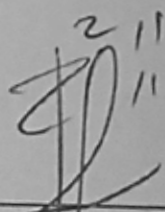


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA TELECOMUNICACIONES

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ing. Jesús Rodríguez, portador de la cédula de identidad N° 4.475.349, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos: Andreina Herrera, portadora de la cédula de identidad N° 23.508.075 y Humberto Zanotti, portador de la cédula de identidad N° 23.408.285, titulado **REINGENIERÍA DEL ESQUEMA DE TELEPROTECCIÓN PARA LA RED DE TRANSMISIÓN DE 765kV DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero de Telecomunicaciones, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 2 días del mes de octubre del año dos mil diecinueve.


Ing. Jesús Rodríguez.
C.I.: 4.475.349

AGRADECIMIENTO

A Dios, por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera, por ser la fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo llena de felicidad al lado de nuestros seres queridos.

A nuestro tutor: Ing. Jesús Rodríguez, por el apoyo brindado para lograr la culminación de este trabajo, por el respeto a nuestras ideas y su capacidad para guiar nuestro trabajo con conocimiento. Gracias por la confianza ofrecida desde el inicio de este arduo y extenso camino.

Un trabajo de investigación es fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales, por lo cual agradecemos al Ing. Napoleón Arteaga, por su cariño, orientación, tiempo y atención a nuestras consultas y por sus valiosas sugerencias en momentos de duda. Por habernos facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis. Nuestro más sincero aprecio y admiración hacia usted.

Gracias a nuestras familias: Herrera Quintana y Zanotti Bolívar, que siempre nos han brindado a ambos un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo. Sobre todo, gracias a nuestros padres, de quien siempre hemos recibido palabras de aliento, en las buenas y en las malas. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito, por eso, este trabajo es también de ustedes.

Finalmente, debemos agradecer a la Universidad de Carabobo, por gran parte de nuestra formación como ingenieros y a la Universidad José Antonio Páez, por ser nuestra casa de culminación estudios y permitirnos lograr nuestra meta de formación. Nos han brindado un lugar de estudio y enseñanza, además de un conocimiento invaluable.

A todos, ¡muchas gracias!

DEDICATORIA

A Dios, por haberme guiado y permitido llegar a este momento tan importante en mi vida, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis padres, Edith Quintana y Luis Herrera; por su amor, apoyo y sacrificio en todos estos años, por ser mis inspiradores y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta esta etapa y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hija, son los mejores padres.

A mi hermano, Jesús Alfonso, por llenarme de alegría en todo momento, quien me inspira a superarme y mi gran motivación para la culminación de esta etapa.

A mi compañero de tesis, Humberto Zanotti, quien ha sido mi apoyo incondicional desde el día 1 en toda mi carrera universitaria, con quien aun teniendo la conversación más ligera me deja siempre algo provechoso y de quien siempre recibí palabras de aliento para continuar este camino.

Con amor a toda mi familia, de manera especial a mi abuela Liona y a mis tías: Ysabel Quintana, Miriam Quintana, Mary Quintana, Mildret Herrera, Vilma Herrera, Lesbia Herrera, Alida Díaz e Hilda Castillo, por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

A los Sr(es): William Zanotti y Moraima Bolívar, por todo su cariño, apoyo incondicional y colaboración en toda esta etapa.

A mis amigos, que son mi segunda familia: Oriana, Simón, Napo, Ale, Orlandito, Mirna, Luz Marina, Mariana, Sr Hjalmar y Sr Napoleón, ¡Los quiero!

Andreina Herrera.

DEDICATORIA

De manera especial a mis padres, Moraima Bolívar y Williams Zanotti por ser mi fuente de motivación e inspiración siempre y quienes sin esperar nada a cambio, estuvieron a mi lado dándome su apoyo incondicional. ¡Los amo!

A mi hermana Oriana Zanotti, quien con sus palabras de aliento no me deja decaer nunca, la que me inspira a ser perseverante y a cumplir mis ideales en cualquier etapa, siendo un gran ejemplo para mi vida.

A mis tí@s: Luz Marina Bolívar, Mirna Bolívar, Mariana Bolívar, Hjalmar Barrios, Napoleón Arteaga y Orlando Castro; quienes junto con mis padres han sostenido los pilares de amor y unión en la familia, pilares que fueron construidos por mis abuelos Alfredo Bolívar y Virginia Silva.

A mis primos Simón, Napo, Ale, Orlando, Alfredo y Rodolfo, que con su crecimiento personal y profesional han sido un ejemplo para finalizar con éxito y dicha este triunfo personal, de igual manera gracias por tantas risas y momentos de alegría.

A mi compañera de tesis, Andreina Herrera quien ha representado una parte muy importante en mi desarrollo profesional y en mi vida, enseñándome valores como la disciplina, el orden y la puntualidad. Y quien me ha acompañado en esta travesía llena de tropiezos y alegrías.

A Jesús Alfonso, Edith Quintana y Luis Herrera; quienes con su confianza y cariño me han hecho sentir como parte de su familia, lo que me ha dado el combustible para convertirme en una mejor persona cada día. Gracias.

Humberto Zanotti.

ÍNDICE GENERAL

	Pp.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema.....	7
1.3 Objetivos de la investigación	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos	7
1.4 Justificación.....	7
1.5 Alcance de la Investigación.....	9
1.6 Limitaciones	9
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes	10
2.2 Bases teóricas	12
2.2.1 Sistema Eléctrico de Potencia.....	12
2.2.2 Protección de Líneas de Transmisión	12
2.2.3 Relés Electromecánicos	13
2.2.4 Relés Numéricos y Digitales	13
2.2.5 Sistema de Protecciones	14
2.2.6 Esquemas Normalizados de Protección.....	15
2.2.7 Características de un Sistema de Protección	15
2.2.8 Protección de distancia	17
2.2.9 Esquemas de Teleprotección	19
2.2.10 Trampa de onda	22

2.2.11 Transformadores de medida	24
2.2.12 Transformadores de Potencial (PT)	24
2.2.13 Transformador de Potencial Capacitivo	24
2.2.14 Ondas Portadoras en Líneas de Alta Tensión (OPLAT)	25
2.2.15 Fibra Óptica	25
2.2.15.1 Fibra Óptica Multimodo	28
2.2.15.2 Fibra Óptica Monomodo.....	29
2.2.16 Estándar IEC 61850	29
2.2.16.1 Partes del Estándar.....	31
2.2.17 Reingeniería.....	33
2.2.18 Cable de Guarda OPGW.....	34
2.3 Bases Legales.....	34
2.3.1 Ley de uso y referencia a normas ISO e IEC.....	34
2.3.2 Ley de soporte IEC	35
2.3.3 Ley Orgánica de Telecomunicaciones	35
2.4 Definición de términos básicos	36

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación	39
3.2 Diseño de la Investigación	39
3.3 Nivel de la Investigación.....	40
3.4 Técnicas e Instrumentos de Investigación.....	40
3.4.1 Técnicas empleadas	40
3.4.1.1 Revisión Documental.....	40
3.4.1.2 Observación directa.....	41
3.4.2 Instrumentos empleados	40
3.4.2.1 Entrevista semi-estructurada.....	41
3.5 Población y muestra	39
3.5.1 Población	40

3.5.2 Muestra	40
3.6 Fases de la Investigación	39
IV RESULTADOS	
4.1 Fase I. Diagnóstico del estado actual del esquema de teleproteccion de la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional	44
4.2 Fase II. Puntos críticos del esquema de teleproteccion de la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional	48
4.2.1 Uso de protocolos propietarios en las distintas subestaciones.....	40
4.2.2 Baja confiabilidad en el canal de comunicación.....	49
4.2.3 Tecnología y equipos obsoletos.....	40
4.3 Fase III. Reingeniería del esquema de teleprotección para la red de transmisión del Sistema Eléctrico Nacional	51
4.3.1 Esquema a proponer para la adecuación.....	51
4.3.2 Canal de comunicación.....	54
4.3.3 Uso de la Norma IEC61850.....	56
4.3.4 Migración de Sistemas analógicos a digitales	57
4.3.5 Diagrama de Interconexión de equipos	59
4.3.6 Simulación	61
4.4 Fase IV. Estudio de factibilidad para la implementación del diseño propuesto.....	62
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pp.
1. Mapa de centrales eléctricas de Venezuela.....	5
2. Conexión ADSL.....	13
3. Diagrama de bloques típico del funcionamiento de relés numéricos y digitales.	14
4. Zonas de Protección.	18
5. Esquema de Teleprotección PUTT.	19
6. Esquema de Teleprotección POTT.	20
7. Esquema eléctrico de un sistema de comunicación por onda portadora.	22
8. Trampa de Onda.....	23
9. Transformador de Potencial Capacitivo.....	25
10. Equipo de acoplamiento típico de fase a fase	26
11. Fibra óptica multimodo.....	28
12. Fibra óptica monomodo.....	29
13. Estructura de la norma IEC 61850.....	33
14. Esquema general del sistema de teleprotección PUTT. Línea Arenosa- Horqueta.....	45
15. Esquema de teleprotección de la línea Horqueta-Arenosa de 765kV	46
16. Simulación del funcionamiento del esquema de teleprotección implementado actualmente en la línea Arenosa-Horqueta.....	47
17. Lógica del Esquema de Disparo Permisivo Transferido de Sobre Alcance (POTT).....	52
18. Ejemplo de la sensibilidad de las zonas de protección ante una falla.....	53
19. Esquema de Disparo Permisivo Transferido de Sobre Alcance (POTT) en condiciones de falla.....	54
20. Esquema de interconexiones propuesto para la teleprotección de línea Arenosa- Horqueta de 765kV.....	59
21. Simulación del funcionamiento del esquema de teleprotección propuesto.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pp.
1. Comparación de los esquemas de distancia.....	52
2. Funciones disponibles en el relé D60.....	60
3. Relación básica aproximada de costos requeridos para la implementación de la propuesta.....	65



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA TELECOMUNICACIONES**

**REINGENIERÍA DEL ESQUEMA DE TELEPROTECCIÓN PARA LA RED
DE TRANSMISIÓN DE 765kV DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.**

Autores:

Herrera Q., Andreina A.

Zanotti B., Humberto J.

Tutor Académico: Ing. Jesús Rodríguez.

Fecha: octubre 2019

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad realizar la reingeniería del esquema de teleprotección para la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional, debido a que actualmente en Venezuela se cuenta con equipos de teleprotección que se encuentran operando hace más de 40 años y adicionalmente no cuentan con interoperabilidad entre fabricantes. Para cumplir con este objetivo se desarrollan 4 fases metodológicas, enmarcadas como proyecto especial, con un diseño transaccional descriptivo. En la primera fase se realizó un diagnóstico, una aproximación acertada del esquema de teleprotección actual, en la segunda fase, un análisis de puntos críticos para precisar en qué niveles del esquema se observan las fallas, a fin de comparar y mejorar estos puntos; en la fase 3 se procedió a desarrollar la reingeniería del esquema de teleprotección para la red de transmisión de 765kV, basada en la filosofía de la norma IEC 61850; y por último, en la cuarta fase, se estudió la factibilidad de asumir el esquema y el estándar propuesto para el Sistema Interconectado Nacional. Se hace uso de herramientas documentales, así como también del software NEPLAN V 5.5.3 para modelar y esquematizar el diseño propuesto. Los resultados obtenidos en la presente investigación evidenciaron que existen deficiencias que justifican la propuesta de adecuación en cuanto a protección, selectividad e interoperabilidad. La propuesta de reingeniería se realizó con el propósito de reducir el efecto de las fallas en las líneas de alta tensión y subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional.

Descriptor: Reingeniería, Teleprotección, Red de Transmisión.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de protección representan un elemento fundamental en el correcto funcionamiento de los Sistemas Eléctricos de Potencia, ya que de ellos depende que las fallas que se producen en el sistema, permanezcan la menor cantidad de tiempo, evitando así daños a los equipos producidos por las altas corrientes y las fluctuaciones de tensión que se generan bajo condiciones de falla. Para garantizar la calidad y continuidad del servicio, se debe disponer de equipos de protección capaces de actuar rápidamente en presencia de cualquier tipo de falla, para asegurar así la continuidad y calidad del servicio brindado. Específicamente la teleprotección, consiste en métodos de comunicación que permiten establecer un intercambio de información entre dos nodos, con fines de proteger selectivamente tanto la línea de transmisión como los elementos del sistema interconectado. Estas comunicaciones pueden ser analógicas o digitales, también existen distintos métodos y medios de transmisión para este fin, tales como, ondas portadoras en líneas de alta tensión (OPLAT), cable telefónico (Ethernet), microondas e incluso fibra óptica, por donde viaja una señal de alta frecuencia (HF).

Es imperativo que las protecciones asociadas a las líneas de transmisión actúen de manera efectiva y segura brindando una protección confiable sin presentar fallas en su actuación. En ese sentido, en el presente trabajo de grado, se propone la reingeniería del esquema de teleprotección, una reingeniería estandarizada y basada en lo estipulado por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). La investigación consta de 4 capítulos, en los cuales se abordarán de manera metodológica cada uno de los pasos, con el fin de cumplir con los objetivos planteados. A continuación, se procede a describir la información contenida en cada uno de los capítulos:

Capítulo I: Se encontrará toda la información concerniente al problema en estudio, dónde se establece el propósito principal de este trabajo. Así mismo, se delimitan los objetivos, tanto general como específicos; se definen los beneficios del proyecto, que

enmarca su justificación, el alcance del proyecto y por ultimo las limitaciones del mismo.

Capítulo II: Se recopila la información más relevante con respecto al marco teórico, haciendo énfasis en los sistemas eléctricos de potencia y en los esquemas de teleprotección. También, comprende los antecedentes de la investigación, que ayudan a conseguir una solución factible al problema, además se presenta una definición de términos básicos con la finalidad de tener una buena comprensión de los temas expuestos.

Capítulo III: Expone con detenimiento los pasos que deben ser realizados en esta investigación para poder desarrollar la propuesta, contiene la metodología, el tipo, diseño y nivel de la investigación, así como también, las técnicas e instrumentos empleados para el desarrollo de la propuesta en cuestión.

Capítulo IV: Muestra los resultados, donde se describirá lo llevado a cabo para el cumplimiento de los objetivos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La automatización en los sistemas de potencia nace de la necesidad de monitorizar en tiempo real y obtener una acción en el menor tiempo posible, con el fin de proteger de una manera precisa, rápida y confiable, tanto al servicio como las partes que componen el sistema eléctrico. En general, la evolución de los sistemas y por ende la de los sistemas de potencia, va de la mano de la automatización, áreas como la ingeniería de telecomunicaciones aportan esta tecnología partiendo de sistemas inteligentes con respuestas más rápidas e incluso anticipadas ante posibles errores.

A lo largo de los años se han utilizado diversos tipos de canales de comunicación y esquemas para la teleprotección de los equipos. En 1935, los primeros esquemas de teleprotección instalados utilizaban un canal de hilo piloto de corriente alterna para la comunicación de los sistemas de protección; y solo se utilizaban para proteger líneas de transmisión de corta distancia. Conforme los años pasaron, diversos problemas se presentaban ante la acción de los disparos transferidos directos, de esta manera fue necesario implementar nuevas lógicas de teleprotección.

Particularmente las subestaciones eléctricas modernas, se protegen empleando una protección primaria y una protección secundaria, con disparos casi instantáneos de manera selectiva, de esta forma se garantiza el despeje de las fallas ocurridas dentro de la línea; esto se hace con el objetivo de procurar la continuidad del suministro del servicio eléctrico y minimizar el efecto de los daños en las instalaciones.

Históricamente, los fabricantes de equipos de teleprotección han desarrollado sus sistemas con protocolos propietarios o adaptados al entorno de subestaciones en

particular, esto ha traído como consecuencia que miles de subestaciones a nivel mundial que han adoptado arquitecturas automáticas de interrupción, utilicen una gran variedad de protocolos, que en el tema de compatibilidad entre equipos de distintos fabricantes se ve comprometida, obligando a los clientes a adquirir dispositivos de un mismo fabricante, viéndose limitada su adquisición de bienes a lo que el mismo ofrezca, afortunadamente, la evolución natural de los sistemas ha conllevado al desarrollo de un esquema de teleprotección estandarizado.

La forma más práctica y eficaz de hacer un determinado trabajo, es buscando los antecedentes de lo que en la práctica se estableció como un mejor proceder. En ese sentido, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) es una organización que se ha encargado de establecer y sugerir una norma o estándar destinado a todo aquel fabricante de equipos que tenga la intención de desarrollar sistemas de teleprotección para una robustez decorosa, que permita la integración de nuevas tecnologías y que éstas se puedan implementar en la norma fácilmente.

Actualmente, en Venezuela se cuenta con 15 plantas termoeléctricas, 4 plantas hidroeléctricas, cientos de miles de kilómetros de líneas de transmisión con tensiones que van desde 13.8kV a 765kV y más de 50 subestaciones que componen el sistema eléctrico de generación, transmisión y distribución, como se muestra en la figura 1; compuestos por equipos de potencia con su respectiva protección. Sin embargo los sistemas de teleprotección actual según la memoria y cuenta del año 2013 elaborada por CORPOELEC, carecen de una interconexión generalizada bajo un mismo estándar, adicionalmente, los equipos que brindan protecciones corresponden a relés electromecánicos que se encuentran en servicio desde hace más de 40 años, habiendo presentado en varias ocasiones disparos no deseados y errores de actuación, en algunos casos, el mismo posee su respectivo registrador de perturbaciones o fallas (oscilografías) donde se presenta un registro de tensiones y corrientes de fase y neutro, el número de muestras por ciclo, período de registro, velocidad de muestreo y una cantidad de registros mínimo. Sin embargo, la cantidad de registros que realiza es de 25 registros por cada

5 segundos, es decir, realiza muestras con una tasa de 5 muestras/s; cantidad que se podría mejorar hasta un 75% con tecnología actual, para así lograr un funcionamiento óptimo.

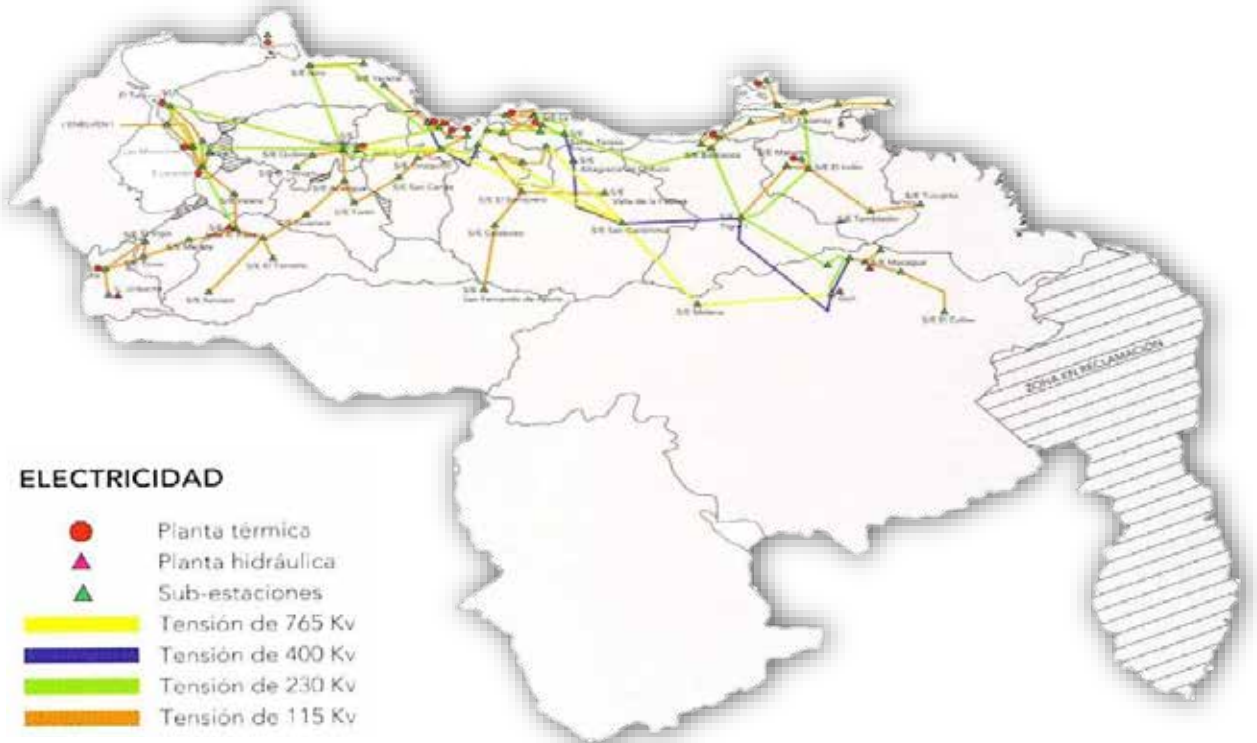


Figura 1. Mapa de centrales eléctricas de Venezuela.

Fuente: http://hgr.tripod.com/map_centrales.html

Particularmente la red de 765kV, denota gran relevancia ya que presenta el nivel de tensión de transmisión que se deriva de la planta hidroeléctrica Guri, la cual se encarga de surtir la energía a más del 80% del país, la misma, cuenta con el esquema de teleprotección PUTT (subalcance permisivo con transferencia de disparo) que consiste en el modo de operación de equipos de teleprotección, éste evita disparos inadvertidos, sin embargo, cuando se presenta una pérdida del canal de comunicación en este esquema, no se puede enviar ni recibir la señal de teleprotección, la cual es necesaria para acelerar el disparo de los interruptores del extremo remoto.

En cuanto a la interfaz de comunicación empleada en el esquema PUTT, se utilizan protocolos distintos, asignados por cada desarrollador de equipos y esto trae como consecuencia limitaciones en cuanto al desarrollo de futuros esquemas de teleprotección. Otro inconveniente que se presenta, es que los relés que brindan actualmente la protección secundaria, son equipos que ocupan grandes espacios debido a sus dimensiones, requiriendo en ocasiones que sean distribuidos en varios paneles de la sala de control.

Actualmente, la comunicación en los esquemas de protección de línea se realiza de diversas formas, entre las cuales destacan: cables (hilo piloto), ondas portadoras en líneas de alta tensión (OPLAT), cable telefónico (Ethernet) y microondas. Todas estas formas de envío de información presentan un inconveniente en común, ninguna de ellas garantiza que la información enviada y posteriormente recibida llegue a su destino sin tener ninguna modificación. En base a esta desventaja surge la incertidumbre de cómo saber si la información recibida en el extremo de la red de transmisión de 765kV hacia el relé es confiable.

La confiabilidad del esquema de teleprotección es indispensable, ya que sin ella el sistema se ve expuesto a que existan daños colaterales en los equipos, líneas de transmisión o generadores, por consecuencia de no poseer un principio que verifique si la comunicación existente está libre de errores o que indique al menos si la información recibida es confiable, trayendo como consecuencia el posible colapso parcial o total, en el que se producen pérdidas de tiempo productivo y por ende pérdidas monetarias importantes, viéndose perjudicada la empresa CORPOELEC, las industrias y bien la economía en general, así como también de manera evidente la población.

En vista de todos los problemas descritos anteriormente, se observa la necesidad de proponer una adecuación del esquema de teleprotección del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), particularmente para la red de transmisión de 765kV por la gran importancia que esta posee, considerando que si existiese una pérdida de energía eléctrica por falla del sistema de teleprotección se perjudica a gran parte del país; se

busca con la adecuación mitigar el efecto de las fallas que el esquema actual posee, así como también los problemas de incompatibilidad de equipos, estableciendo un esquema normalizado bajo la filosofía del estándar IEC 61850.

1.2 Formulación del problema

¿De qué manera se puede mejorar el sistema actual de teleprotección de la red de transmisión de 765kV para minimizar el efecto de las fallas en el Sistema Eléctrico Nacional?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Proponer la reingeniería del esquema de teleprotección para la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado actual del esquema de teleprotección de la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional.
- Identificar los puntos críticos del esquema de teleprotección de la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional.
- Elaborar el diseño para la reingeniería del esquema de teleprotección para la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional basada en el estándar IEC 61850.
- Realizar un estudio de factibilidad para la implementación del diseño propuesto.

1.4 Justificación

El objetivo de cualquier compañía suministradora de energía eléctrica es mantener el suministro de energía a sus usuarios cumpliendo con unos parámetros de calidad establecidos por las normas, referidos al voltaje, frecuencia, pureza de la onda y confiabilidad, a un costo razonable. La calidad del servicio de la empresa “Corporación Eléctrica Nacional” (CORPOELEC) radica en la continuidad de energía eléctrica; y todos los sistemas que conforman el proceso de generación y

transporte de energía eléctrica deben estar protegidos ante cualquier tipo de fallas, para así garantizar la continuidad del suministro de energía. Es por ello la necesidad de poseer un sistema de teleprotección que opere bajo una estandarización con selectividad, sensibilidad y asimismo que se apoye en futuros acontecimientos tecnológicos.

La finalidad de la estandarización en la automatización de subestaciones es desarrollar un estándar de comunicación que resuelva exigencias de funcionamiento. Actualmente, siguiendo los lineamientos del estándar IEC61850, existen más de 4000 sistemas de automatización de subestaciones instalados por todo el mundo, esto es la prueba de la aceptación de estos sistemas y la apreciación de sus beneficios por parte de los usuarios y de la industria mundial. Bajo el Comité Internacional Eléctrico (IEC), los representantes tanto de usuarios como de proveedores, conjuntamente han elaborado un estándar “IEC 61850” ganando la aceptación a nivel mundial, siendo el primer estándar que considera todas las necesidades de comunicación dentro de subestaciones.

Si llegase a tener efecto la reingeniería propuesta del esquema de teleprotección para la red de transmisión de 765kV del SEN bajo la estandarización IEC 61850, la población de Venezuela resultaría beneficiada, ya que se contaría con un mejor servicio eléctrico, disminuirían notablemente las interrupciones en los equipos de potencia y, por ende, el efecto de las fallas que éstas producen. A su vez, CORPOELEC resultaría beneficiada, ya que contaría con un incremento en la eficiencia de la empresa, siendo ésta una mejora en la cual se verían los efectos positivos a corto plazo; además contaría con un sistema completo, moderno y confiable por poseer independencia de tecnología actual, interoperabilidad, libre configuración, sistema de estabilidad a largo plazo, intercambio de datos a alta velocidad y lograría proporcionar una descripción formal del sistema y un modelo de datos comprensivo.

1.5 Alcance de la Investigación

El trabajo de investigación culmina con una propuesta de adecuación del esquema de teleprotección de la red de 765kV basada en lo estipulado en el estándar IEC 61850.

1.6 Limitaciones

La limitación que se presentó para el desarrollo del presente trabajo especial de grado, fue la dificultad para acceder y recolectar la información en relación a las líneas de 765kV, debido a que CORPOELEC restringe el acceso a la información quizá por las políticas del Gobierno Nacional, el cual tiene un hermetismo en relación al tema.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo contempla los antecedentes relacionados con la investigación y las bases teóricas en donde se sustentan los aspectos generales del tema en estudio.

2.1 Antecedentes

Pérez, E. (2014), en el trabajo el cuál se titula: **“Diseño y optimización de una arquitectura IEC 61850”** para optar por el título de Ingeniero Electricista ante la Universidad Pontificia Comillas de Madrid-España, ha implementado una herramienta que permite de forma rápida y sencilla, diseñar distintas arquitecturas para los sistemas de control de subestaciones según las necesidades de, robustez, velocidad y coste. La aplicación considera todos los elementos que son necesarios a la hora de llevar acabo el diseño de las arquitecturas de comunicaciones en subestaciones. A raíz de esto surgió un importante cambio que se presenta en los sistemas de automatización de subestaciones como consecuencia de la introducción de la norma IEC 61850, se analizan tanto desde el punto de vista económico como técnico las distintas opciones de sistemas de comunicación. Esta investigación aporta elementos muy importantes para el desarrollo del presente trabajo de grado, tales como el estudio de los tiempos de retraso de una transmisión, el tipo de fiabilidad, así como también, justifica la implementación de la norma IEC 61850.

Un aporte importante realizado por las Ing. López, L. e Ing. Marcano, I. (2014) en el trabajo titulado **“Análisis del sistema de comunicaciones asociado a la red eléctrica de la región central de CORPOELEC”**, publicado en la revista de Ingeniería “Tekhne 10” de la Universidad Católica Andrés Bello, Caracas-Venezuela contemplan el análisis de la plataforma de comunicaciones asociada a la red eléctrica de la Región Central de CORPOELEC, basándose en estudios teóricos y evaluaciones

de los enlaces para esa fecha y a implementarse. De este trabajo se tomó el desarrollo de los estudios relacionados con la confiabilidad de los enlaces basados en los tiempos típicos de falla de los equipos; además se tomaron tres análisis, el primero, en base a los equipos, el segundo referente a la fusión de la red y mecanismos de respaldo; y el tercero con base a los servicios que se transmitirían en cada subestación. Se realiza una propuesta fundamentada en las deficiencias encontradas o mejoras necesarias para obtener un mejor aprovechamiento de los recursos y elevar la confiabilidad de la red, el cual posee gran similitud en cuanto objetivos con el presente trabajo de grado.

Cabe citar el estudio de Aquino, J. (2015) quien expuso el trabajo especial de grado titulado **“Metodología para elaborar la actualización de estudios de coordinación de protecciones de un sistema eléctrico interconectado”** para optar por el título de Ingeniero de Telecomunicaciones ante la Universidad Nacional del Callao en Lima-Perú. Proyecto que consiste en proporcionar criterios para un correcto ajuste de las funciones de protección. Utiliza como programa aplicativo el Power Factory Digsilent, para evaluar los esquemas de protección y validar o modificar los ajustes existentes de las subestaciones eléctricas y líneas de transmisión que se evalúan. Dicho trabajo genera aportes significativos al estudio en cuestión, debido a que de éste se tomaron las pautas necesarias para realizar un correcto ajuste de las funciones de protección coordinables en un sistema eléctrico interconectado y sus criterios y recomendaciones. También esta investigación nutre al presente trabajo de grado debido que aporta conocimiento a los autores en relación al software computacional para efecto de la simulación a realizar, que si bien no se hace uso del mismo programa aplicativo, posee gran similitud con el software a utilizar.

Una reciente investigación llevada a cabo por Yépez, N. y Granda, K. (2017) titulada **“Implementación de mensajería GOOSE bajo la norma IEC61850 en relés SEL para esquemas de protección de barras”**, para optar por el título de Ingeniero de Telecomunicaciones ante la Universidad Politécnica, Salesiana-Ecuador, expone un trabajo de operación en un sistema de protección de barra y se propone un

esquema de protección de barra simple, basado en la aplicación de las técnicas de lógica programable que tienen todos los relés modernos (relés numéricos) y de la mensajería GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) basada en la norma IEC 61850, utilizada para el intercambio de las señales de protección de todos los relés que intervienen en el sistema de protección. El referido trabajo, aporta información para un posible uso de un nuevo relé, basado en lógica programable o digital, con el fin de mejorar el ámbito tecnológico de comunicaciones en las subestaciones eléctricas, demostrando que con tecnología actual e implementando la norma IEC 61850 se puede mostrar un sistema de control de tiempo real, haciendo escaneos de la red cada vez que ocurre un evento, garantizando la selectividad y confiabilidad del esquema de protección y de todo el Sistema Eléctrico de Potencia.

En una entrevista realizada por el periodista Meléndez E. el 11 de marzo de 2019 al Ing. Winston Cabas, presidente de AVIEM (Asociación Venezolana de Ingeniería Eléctrica, Mecánica y carreras afines) donde expone un balance de la situación eléctrica del país dice:

“...De persistir el estado de fragilidad, de inestabilidad, el estado de desprotección de nuestro sistema eléctrico, con seguridad en cualquier momento se presentará una falla. En las subestaciones de distribución, los equipos tienen más de 50 años instalados. Han debido ser sustituidos hace tiempo o, en el mejor de los casos, hacerles un mantenimiento riguroso, para prolongarles la vida. Pero ni uno ni otro se hace y hoy la situación de calamidad que tienen esos equipos es bastante notoria, y es por ello que están explotando estos transformadores en las subestaciones de distribución. Esto mismo está ocurriendo en las subestaciones de transmisión con las plantas de emergencia; existen rectificadores y existen baterías, pero los mismos están en mal estado; no hay equipo de respaldo que alimenten las líneas, estos insumos se han debido comprar desde hace mucho tiempo para que el sistema eléctrico fuese confiable; que en este momento no lo es...”

Lo cual nos aporta información valiosa referente a la situación actual del Sistema Eléctrico Nacional.

2.2 Bases teóricas

Todo estudio de investigación que se desee realizar con objetividad, utilizando el método científico necesita una revisión y análisis de teorías que sirvan de sustentación para el aporte que pretenda el trabajo investigativo que se inicia. Este criterio es importante para la credibilidad y confiabilidad en el análisis y explicación de la problemática estudiada.

2.2.1 Sistema Eléctrico de Potencia

Según ABB. (2000) consiste en un sistema de suministro de energía eléctrica, conformado principalmente por: plantas de generación, subestaciones elevadoras, líneas de transmisión, subestaciones reductoras, líneas de distribución y centros de consumo. En un Sistema de Potencia, las líneas de transmisión y distribución representan el medio de conexión entre los centros de generación y los centros de consumo. En su mayoría y en el tipo constructivo aéreo, las líneas de transmisión y de distribución están físicamente constituidas por conductores eléctricos, debidamente aislados que se encuentran soportados en sus extremos por estructuras metálicas denominadas torres. Dichos conductores pueden ser de fase (encargados de transmitir la energía eléctrica) o de guarda (aquellos que actúan como protección de los conductores de fase en presencia de una descarga de rayos).

Las líneas de transmisión transportan la energía eléctrica desde los centros de generación hasta las sub-estaciones reductoras, a partir de la cual el transportada a los centros de consumo por medio de las líneas de distribución.

2.2.2 Protección de Líneas de Transmisión

Para Mendoza, A. (1998) las líneas de transmisión son el punto de unión entre las diferentes partes del sistema de potencia y el equipo asociado. La energía se genera a bajos voltajes y se eleva a voltajes más altos para transmitirlo a diferentes subestaciones donde se vuelve a reducir para distribuirlo a los usuarios de tipo industrial, comercial y residencial.

Según Enriquez, H. (2008) la experiencia ha demostrado que la mayoría de las fallas de un sistema de potencia ocurren en las líneas de transmisión. Si las fallas no

se liberan rápidamente pueden causar la pérdida de estabilidad del sistema o un daño mayor. Por esta razón, el sistema de transmisión debe protegerse adecuadamente en base a sus características, longitud e importancia.

2.2.3 Relés Electromecánicos

Según IEEE. (1997) los relés electromecánicos consisten en dispositivos conformados por una o más partes mecánicas que se mueven cuando la variable de interés tales como: corriente, voltaje, frecuencia, impedancia, flujo de potencia, etc., supera un valor de ajuste prescrito. En la Figura 2 se observa un modelo típico de este tipo de dispositivos utilizados como protección de sobrecorriente, en el cual la corriente censada circula a través de la bobina de alambre magnetizando al núcleo y generando así una fuerza de atracción sobre el brazo móvil, de esta forma, cuando se logra superar la resistencia del resorte, se unen los contactos y se cierra el circuito de salida.

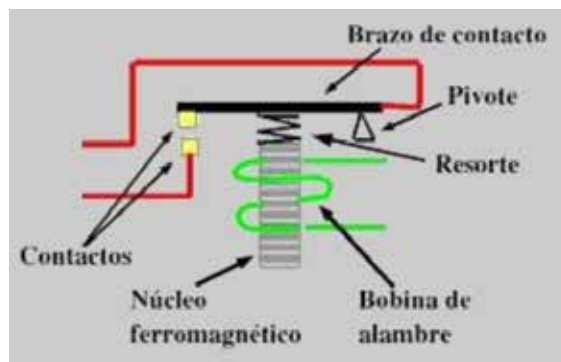


Figura 2. Conexión ADSL

Fuente: <https://www.uv.es/marinjl/electro/reles.html>

2.2.4 Relés Numéricos y Digitales

Este tipo de relés emplean entre otros, microprocesadores, convertidores A/D, memorias para implementar sus funciones convirtiendo las señales analógicas de entrada en señales digitales para realizar su lógica de funcionamiento. En la Figura 3 se observa el diagrama de bloques que representa la operación de este tipo de relés, en donde se aprecia que las señales analógicas al ser convertidas en señales digitales,

pueden ser empleadas en distintos algoritmos para calcular otras características del sistema como por ejemplo impedancias, permitiendo así la capacidad de monitorear y supervisar distintas variables del sistema protegido. Además, estos relés cuentan con tarjetas de memoria que permiten archivar la data registrada por el equipo.

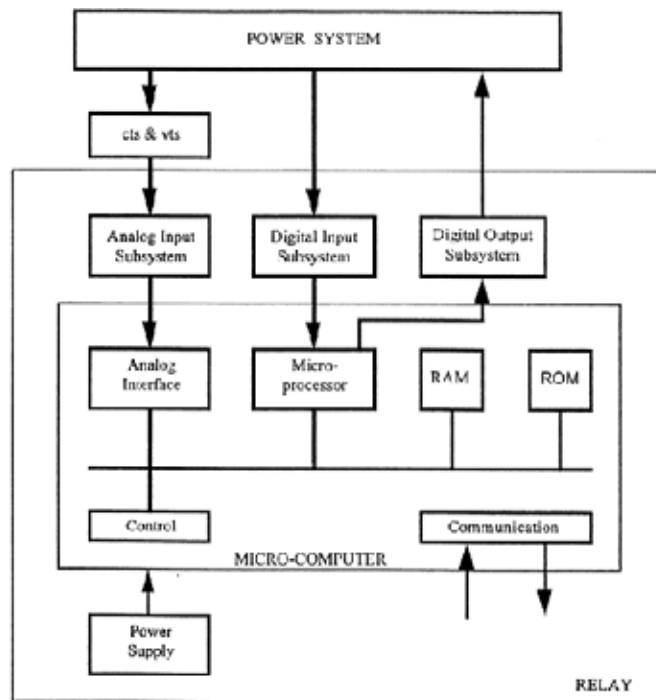


Figura 3. Diagrama de bloques típico del funcionamiento de relés numéricos y digitales.

Fuente: Elmore, W. (1994).

2.2.5 Sistema de Protecciones

Se puede definir protección eléctrica, como el conjunto de equipos necesarios para la detección y eliminación de los incidentes en los sistemas o instalaciones eléctricas, cuya misión consiste en:

- Identificar y localizar el defecto o falta en cuanto a su tipo y lugar.
- Realizar las actuaciones y desconexiones necesarias: Los sistemas de protección deben poner en práctica automáticamente las actuaciones y desconexiones necesarias para aislar la falta de la manera más rápida,

reduciendo los efectos destructivos de la falta y poniendo fuera de servicio la parte más pequeña de la instalación que basta para dejar la falta aislada y al equipo fuera de peligro.

- Señalizar el defecto detectado y las actuaciones efectuadas.
- Aportar información necesaria con el fin de garantizar una operación segura y el análisis posterior de la incidencia.

Toda instalación eléctrica tiene, por tanto, que estar dotada de una serie de protecciones que la hagan confiable y segura, tanto desde el punto de vista de sí misma, como de los elementos que la constituyen, así como también los aparatos a ellos conectados.

2.2.6 Esquemas Normalizados de Protección

Según CFE. (2008), la definición de un esquema de protección de acuerdo a la norma de referencia de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), es “Grupo o arreglo de dispositivos llamados relevadores que se interconectan o interrelacionan para proteger a los equipos eléctricos primarios, detectando condiciones anormales de operación para evitar o reducir daños mayores al elemento primario”.

2.2.7 Características de un Sistema de Protección

Para Rush, P. (2002) un sistema de protecciones debidamente concebido debería poseer en la mayor medida posible, las siguientes características:

Sensibilidad: Capacidad de detectar las variaciones más pequeñas en los parámetros medidos, dentro de una zona o elemento protegido. El sistema de protecciones debe disponer de la suficiente sensibilidad para la detección rápida y segura de todos los defectos o faltas que puedan existir en la zona protegida.

Selectividad: Capacidad de discriminar cuando se debe actuar, esperar o bloquearse, en función del lugar y del tipo de falta sucedida, con objeto de originar la desconexión de la parte de la instalación afectada por la avería y evitar la puesta fuera de servicio de la parte no afectada; es decir intentando minimizar la parte de instalación desconectada.

Rapidez: Se persigue el tiempo mínimo en el proceso detección-selección-actuación, tratando de minimizar los posibles daños en la instalación, producidos por la falta. En cualquier caso, debe de tenerse en cuenta que al aumentar la velocidad puede disminuir la fiabilidad y elevar el precio de los equipos de protección, y debe ser estimada para cada aplicación concreta.

Fiabilidad: Nivel de confianza en el comportamiento correcto, que se compone en dos partes distintas: seguridad y obediencia.

a) **Seguridad:** Probabilidad de no actuar cuando no tiene que hacerlo.

Los sistemas de protecciones no deben actuar cuando, o bien no exista un defecto o falta, o cuando estas condiciones y/o faltas desaparezcan antes de un tiempo t .

b) **Dependabilidad:** Probabilidad de actuación cuando si tiene que hacerlo.

Ante la existencia de un determinado defecto o falta dentro de la zona protegida, el sistema de protecciones deberá detectarlo e iniciar las acciones oportunas de las protecciones, de forma que se eviten daños en la instalación. Hay que tener en cuenta que una operación incorrecta por parte de los sistemas de protecciones puede ser motivada por una de las siguientes causas; diseño incorrecto para una aplicación concreta, instalación incorrecta de una protección, ajustes incorrectos de los valores de operación, deterioro de equipos en servicio por falta de un adecuado mantenimiento, manipulación indebida etc.

Robustez: Capacidad de soportar durante años las condiciones ambientales y de trabajo a que son sometidos, de forma que se garantice un correcto funcionamiento y condiciones operativas a lo largo del tiempo.

Autonomía: El fallo de cualquier otro elemento de la instalación, ajeno al sistema de protección, no debe afectar a ésta. El sistema de protección debe ser independiente, en sus funciones primordiales, del resto de sistemas, con el objeto de que las consecuencias de la propia avería no afecten a la capacidad para despejarla.

Redundancia: El sistema debe ser redundante, para garantizar el funcionamiento inequívoco del mismo y así evitar falsos positivos indeseados, esto se

logra con la actuación de dos equipos paralelos con parámetros y características idénticas; y con alimentaciones diferentes.

2.2.8 Protección de distancia

Según Gallegos, G. (2000), se emplean relés de distancia que reciben constantemente la información de corrientes y tensiones de la línea, obteniendo así la impedancia de dicha línea en todo instante de tiempo, a partir de la Ley de Ohm:

$$Z = \frac{V}{I} \quad (I)$$

Donde:

considerando los posibles errores de medición mencionados anteriormente. En los casos en que la línea a proteger posee una longitud muy distinta a la de las líneas adyacentes, no será posible aplicar el ajuste típico del 120% ya que se podría generar un solapamiento con las segundas zonas contiguas, generando el disparo simultáneo de ambas protecciones. Para estos casos se propone considerar las longitudes de las líneas adyacentes, generando un alcance que cumpla con los márgenes de seguridad manteniendo la selectividad de la protección.

La segunda zona debe tener un retardo en su tiempo de actuación de forma que no se generen disparos simultáneos con la primera zona de las líneas adyacentes, en caso de que la falla se ubique dentro del porcentaje cubierto por la presente zona 2.

- Zona 3: Respaldo

La Zona 3 tiene como finalidad brindar una protección de respaldo a las líneas adyacentes presentando un retardo en su tiempo de actuación, para evitar disparos simultáneos con las segundas zonas contiguas. El ajuste típico para esta zona consiste en el 180% de la impedancia total de la línea principal, pero al igual que en el caso anterior, hay ocasiones en que es necesario tomar en cuenta las longitudes de las líneas adyacentes para realizar un ajuste que garantice la selectividad de la protección sin solapar con las otras zonas.

En la Figura 4 se observa el diagrama correspondiente a las zonas de protección de líneas adyacentes.

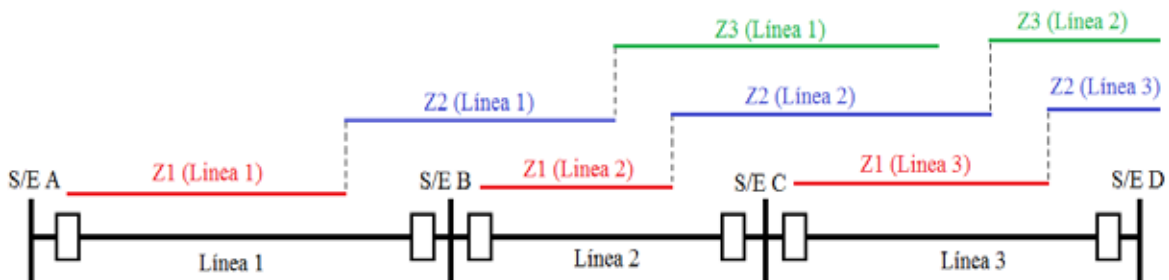


Figura 4. Zonas de Protección.

Fuente: Rush, P (2002)

2.2.9 Esquemas de Teleprotección

Como se puede notar de la figura 4, las fallas que se presentan en zona 1 corresponden al 80% de la línea, son despejadas instantáneamente (100ms), un poco más allá, al final de la línea, 120% en zona 2 el despeje es retardado (>350ms), y como respaldo en zona 3 (>600ms). En sistemas estresados los tiempos de segunda y tercera zona son inadecuadamente altos, poniendo en peligro la operación estable del sistema. Para reducir el tiempo de actuación de las protecciones, se emplean esquemas de teleprotección que comunican a los relés ubicados en cada extremo de la línea, comparando así las condiciones registradas por cada protección de forma que se logre corroborar si la falla se encuentra dentro o fuera de la línea a proteger. Con esto se logra acelerar la actuación de las protecciones ante fallas dentro de la línea sin necesidad de esperar los tiempos de retardo correspondientes a las segundas zonas, disminuyendo así el tiempo de exposición del sistema ante la falla. Entre los principales esquemas de protección se encuentran los siguientes:

a) Disparo Transferido con Sub-Alcance Permisivo (PUTT)

Emplea la zona 1 en sub-alcance y la zona 2 en sobre-alcance, enviando una señal permisiva al extremo remoto cuando la falla es registrada en la primera zona. De esta forma, el relé remoto, al recibir la señal permisiva, enviará disparos siempre y cuando esté observando la falla en su segunda zona de actuación. En la Figura 5, se observa el esquema funcional correspondiente a la actuación del esquema de protección PUTT.

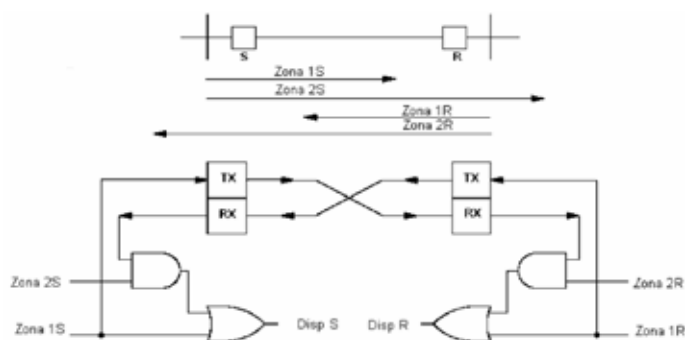


Figura 5. Esquema de Teleprotección PUTT.

Fuente: Goff, L. y Pitzer H. (2002).

Para Elmore, W. (1994) el esquema PUTT trabaja con el arranque de la primera zona, es decir cuando arranca la zona 1 del relé ubicado en la barra B se transmite una señal al relé ubicado en la barra A, en este relé se deberá cumplir dos condiciones para poder abrir el interruptor, primero tener la recepción de la señal del extremo opuesto y segundo que se tenga un arranque de la zona 2, cuando ambas condiciones se cumplen, el relé manda un disparo al interruptor de manera instantánea y no toma en consideración la temporización de la zona 2; con esto se consigue despejar la falla en ambos extremos de manera casi inmediata. La misma lógica se emplea para una falla cercana a la barra A.

c) Disparo Transferido con Sobre-Alcance Permisivo (POTT)

Emplea la segunda zona en sobre-alcance enviando una señal permisiva al extremo remoto, el cual ordenará disparos siempre y cuando también esté observando la falla en su segunda zona de actuación. En la figura 6 se observa la representación funcional del esquema POTT.

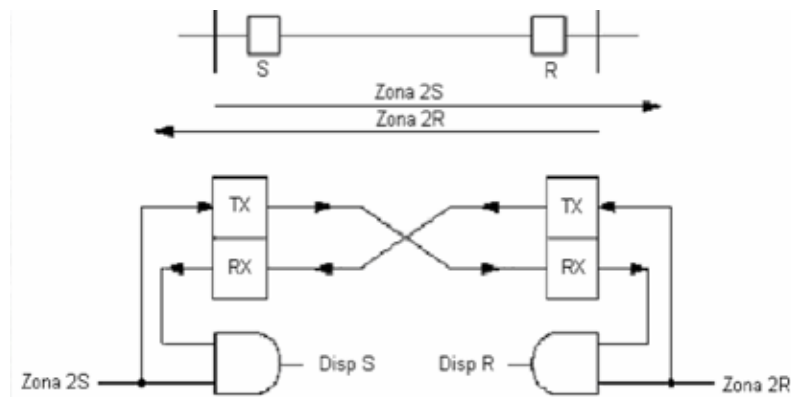


Figura 6. Esquema de Teleprotección POTT.

Fuente: Goff, L. y Pitzer H. (2002).

Según ABB. (2000) el esquema POTT trabaja con el arranque de la zona de sobrealcance (zona 2). Es decir, cuando arranca la zona 2 del relé ubicado en la barra B se transmite una señal al relé ubicado en la barra A, en este relé se deberá cumplir dos condiciones para poder abrir el interruptor, primero tener la recepción de la señal del extremo opuesto y segundo que se tenga un arranque de la zona 2, cuando ambas

condiciones se cumplen el relé manda un disparo al interruptor de manera instantánea y no toma en consideración la temporización de la zona 2; con esto se consigue despejar la falla en ambos extremos de manera inmediata. La misma lógica se emplea para una falla cercana a la barra A. Se debe recordar que el arranque o disparo de la zona 1 necesariamente provoca un arranque en la zona 2, ya que la zona 2 cubre también a la zona 1.

El esquema de teleprotección POTT es empleado en aquellos casos en que se requiere acelerar el tiempo de despeje para mantener así la actuación apropiada del Sistema Eléctrico. Para este tipo de esquema se requiere que los relés ubicados en cada extremo de la línea a proteger estén ajustados en sobre-alcance en su respectiva segunda zona, de forma que se logre detectar cualquier falla dentro de dicha línea. En vista de esto, cuando ocurre una falla dentro de la línea en cuestión, cada relé enviará una señal al extremo remoto, a través del equipo de comunicación, indicando la detección de la falla y permitiendo la actuación del extremo remoto, en caso de que éste también registre la falla en su segunda zona. De esta forma se logra acelerar el tiempo de despeje de la falla, ya que el extremo que registre la falla en primera zona actuará de forma instantánea y al enviar el disparo transferido al extremo remoto, éste también actuará instantáneamente al recibir la señal siempre y cuando también haya detectado la falla en segunda zona. Sin este esquema, sería necesario esperar el tiempo de retardo de la zona 2 para poder despejar la falla.

El esquema POTT presenta un aumento en el nivel de seguridad de la protección respecto al esquema PUTT, debido a que los disparos transferidos serán enviados por ambos extremos siempre y cuando la falla se encuentre ubicada dentro de la línea a proteger, a diferencia del esquema PUTT que solo enviará disparos transferidos cuando alguno de los relés registre la falla dentro del alcance de su respectiva Zona 1 de actuación, generando además posibles dificultades para detectar fallas de alta impedancia.

Además, el esquema POTT permite integrar la función direccional de sobrecorriente de neutro disponible en el relé, habilitando el canal de comunicación

cuando ésta se encuentre activa, mientras la función de distancia se encuentra bloqueada.

2.2.10 Trampa de onda

En un sistema de comunicación por onda portadora, el equipo que caracteriza dicho sistema es la trampa de onda. Las trampas de onda o bobinas de bloqueo son dispositivos que se conectan en serie en las líneas de alta tensión, la función principal de estos equipos es bloquear las señales transportadas para que solo pasen al equipo de comunicaciones y prevenir el paso de estas señales a la subestación. Su impedancia es despreciable a la frecuencia industrial de tal forma que no perturba la transmisión de energía, pero es relativamente alta para cualquier banda de frecuencia utilizada para comunicación por portadora. En la figura 7 se muestra un esquema eléctrico de un sistema de comunicación por onda portadora.

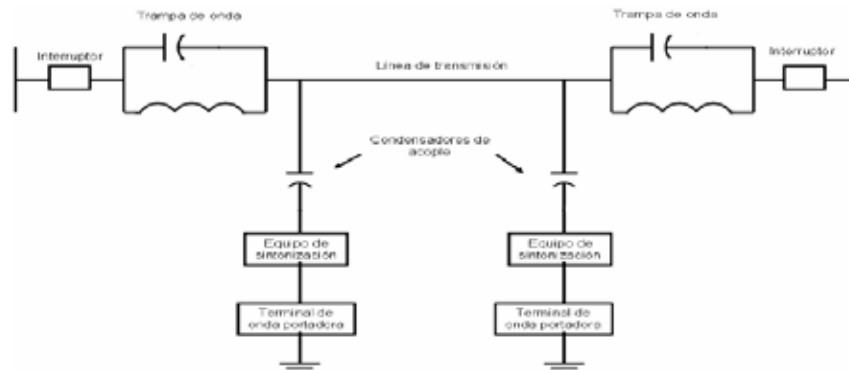


Figura 7. Esquema eléctrico de un sistema de comunicación por onda portadora.

Fuente: Goff, L. y Pitzer H. (2002).

De acuerdo con Azcunez, A. (1987), por lo general el rango de frecuencia utilizado para comunicación por onda portadora es de 30-500KHz, este rango de frecuencias presenta un suficiente aislamiento con la frecuencia de 60Hz de la señal de potencia y del ruido que dicha señal origina, además de no ser tan alto como para presentarse una excesiva atenuación. El valor alto de impedancia de la trampa de onda limita la atenuación de la señal de la onda portadora dentro del sistema de

potencia, impidiendo que la señal de portadora se disipe en la subestación, en una línea auxiliar o en una rama del camino de la transmisión principal.

Las trampas de onda consisten en una bobina principal con un condensador en paralelo. Para el acoplamiento de la línea se usan condensadores de acople y equipos de sintonización. La bobina principal es una inductancia, la cual lleva la corriente a frecuencia industrial del circuito o línea de transmisión. Los condensadores de acople, también llamados divisores capacitivos de tensión, son los que permiten inyectar la señal de alta frecuencia en la línea de alta tensión, por lo cual su impedancia debe ser mínima a estas frecuencias. A la frecuencia del sistema de potencia (60 Hz) su impedancia es elevada. El equipo de sintonía sirve para obtener una impedancia relativamente alta para una o más frecuencias o para bandas de frecuencia.

Las trampas de onda se pueden montar de distintas formas; como se muestra en la figura 8. La Figura 8.1 muestra una trampa de onda suspendida por cadenas de aisladores de los pórticos de las subestaciones, la Figura 8.2 indica la trampa de onda sobre aisladores del poste y la Figura 8.3 muestra la trampa de onda sobre un acoplador capacitivo (generalmente, sólo para trampas de onda con una inductancia hasta 0,5mH).



Fig. 8.1



Fig. 8.2



Fig. 8.3

Figura 8. Trampa de Onda: 8.1 Trampa de onda suspendida por cadenas de aisladores de los pórticos de las S/E's, 8.2 Trampa de onda sobre aisladores del poste, 8.3 Trampa de onda sobre un acoplador capacitivo.

Fuente: <https://www.rtho.com/linea-de-productos/1-ssee/07-reactores-y-trampas-de-ondas/trampas-de-onda/>

2.2.11 Transformadores de medida

Son aquellos elementos destinados a reducir las altas tensiones y corrientes a las que operan los sistemas de potencia eléctrica a magnitudes bajas y seguras, acordes a los equipos de protección y medida. De esta forma es posible proteger a estos dispositivos de las altas tensiones a las que opera el Sistema Eléctrico, permitiendo así que puedan cumplir su función empleando para ello cantidades proporcionales a las existentes en el circuito eléctrico. La exactitud de operación de los elementos de protección va a depender en gran medida de los transformadores de tensión y corriente a través de los cuales reciben la información para su operación.

2.2.12 Transformadores de Potencial (PT)

Para Mason, C. (2007), los transformadores de potencial son utilizados para adecuar los niveles de tensión a los alcances de los elementos de medición y protección del sistema de potencia. La tensión nominal del primario de estos elementos queda definida a partir de las características del sistema, mientras que la tensión nominal del devanado secundario será seleccionada dependiendo de la práctica asociada a la localidad en que se encuentra el transformador. Según el estándar IEC186, 1987; basados en la práctica europea se tienen los siguientes valores normalizados de tensión de línea: 100V y 110V; por su lado, basados en la práctica de los Estados Unidos y Canadá, se tiene el valor normalizado de tensión de línea de 120V. La relación de transformación asociada al transformador viene dada a partir del cociente entre la tensión nominal del primario y la tensión nominal del secundario. Debido a las caídas de tensión que se generan en las impedancias de cada devanado, no es posible obtener una relación de transformación ideal, según el estándar IEC186,1987; el error de voltaje introducido por un transformador de potencial viene dado a partir de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon(\%) = \frac{k_n U_p - U_s}{U_p} \quad (\text{II})$$

Donde:

$\varepsilon(\%)$: Error de Voltaje introducido por un Transformador de Potencial.

k_n : Relación de Transformación.

U_p : Tensión del Primario.

U_s : Tensión del Secundario.

Los transformadores de potencial destinados a la protección se designan por un número seguido de la letra “P”. El número corresponde al valor máximo del error en magnitud, mientras que la letra “P” indica que el transformador está destinado para protecciones.

2.2.13 Transformador de Potencial Capacitivo

Los transformadores de tensión capacitivos separan del circuito de alta tensión los instrumentos de medida, contadores, relés, protecciones, etc. y reducen las tensiones a valores manejables y proporcionales a las primarias originales. Adicionalmente ofrecen la posibilidad de transmitir señales de alta frecuencia a través de las líneas para la telecomunicación de voz, data, medición, control y protección. En la figura 9(a) y 9(b) respectivamente se presenta el esquema circuital del transformador de potencial capacitivo. Los condensadores de acoplamiento sirven únicamente como acoplamiento de señales de comunicación de alta frecuencia y corresponden a la parte capacitiva de un transformador de potencial capacitivo.

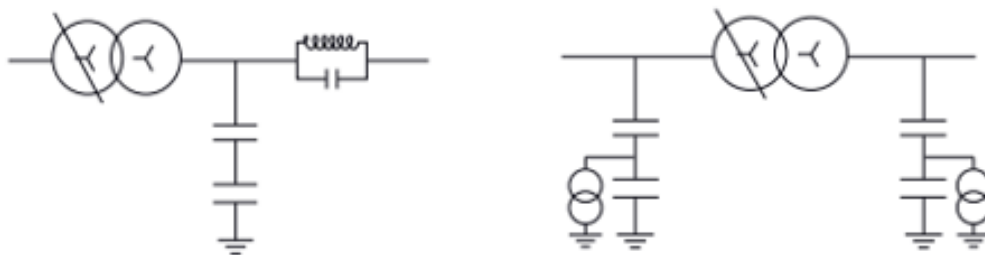


Figura 9. Transformador de Potencial Capacitivo

Fuente: <http://www.ptolomeo.unam/osornorivera.pdf?sequence=1>

2.2.14 Ondas Portadoras en Líneas de Alta Tensión (OPLAT)

Según Mendoza, A. (1998), la “Onda Portadora en Línea de Alta Tensión (OPLAT), o Power Línea Carrer (PLC), por sus siglas en inglés, es una técnica que consiste en la transmisión de señales de alta frecuencia a lo largo de la línea eléctrica

aérea. Puesto que las líneas de transmisión son robustas y usan grandes conductores espaciados ampliamente entre los mismos, dan alta confiabilidad y muy baja atenuación a las señales de onda portadora, lo que constituye un camino de bajas pérdidas en la transmisión de los datos. Este se encuentra completamente controlado por la empresa eléctrica.

Para Dahlin, T. y Brien, J. (2005), el rango de frecuencia más utilizado en la onda portadora es de 30 a 300 kHz. Este rango de frecuencia es suficientemente alto para que quede aislado de la frecuencia del sistema, que es de 60Hz, y del ruido que este produce; sin embargo, no es tan alto como para tener una atenuación excesiva. El espectro limitado (30-500 kHz) aplicable al OPLAT, ha presentado problemas en algunas funciones, en las cuales no se ha aplicado la adecuada frecuencia planeada y las estrategias de frecuencia asignadas a los sistemas.

Se utilizan capacitores de alta tensión junto con bobinas de drenaje, conocidas como trampa de onda, con el fin de inyectar la señal a la línea y la extracción de la señal de la línea. La inyección de señal puede llevarse a cabo mediante la impresión de tensión entre el conductor de fase y tierra o entre dos conductores de fase. Las unidades básicas se pueden ser construidas como un filtro pasa altos o un filtro pasa bandas, como se muestra en la Figura 10.

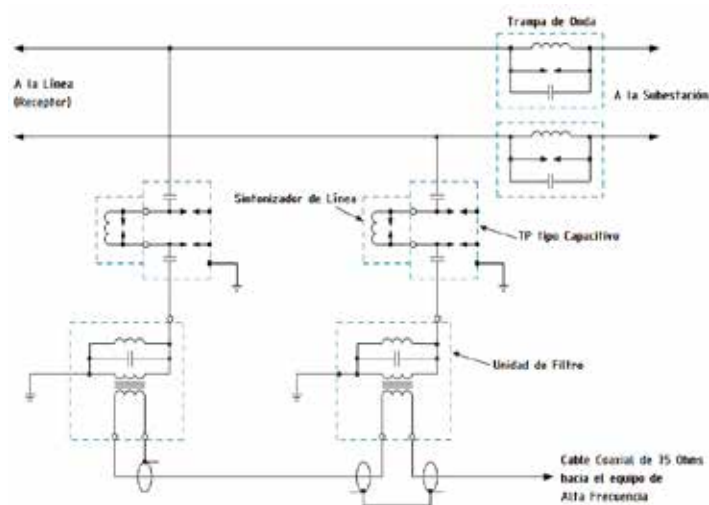


Figura 10. Equipo de acoplamiento típico de fase a fase

Fuente: Goff, L. y Pitzer H. (2002).

Según Areva (2002), el capacitor de alta tensión se ajusta mediante una bobina sintonizadora para presentar una baja impedancia a la frecuencia de la señal. El circuito en paralelo presenta una alta impedancia a la frecuencia de la señal, mientras que proporciona un camino para que la señal de alta frecuencia pase por el capacitor. El arreglo completo está diseñado como un filtro pasa bandas equilibrado o desequilibrado de media sección, en función de si la transmisión se realizará de fase a fase o de fase a tierra.

De acuerdo con Dahlin, T. y Brien, J. (2005); es necesario minimizar el paso de la señal a otras partes del sistema de potencia para permitir que la misma frecuencia a la que se está trabajando sea utilizada en otras líneas y no provoque funcionamientos inadecuados. Esto se hace con la "trampa de línea" o "trampa de onda". La pérdida de cada terminal de línea es de 1 a 2 dB a través del filtro de acoplamiento, un máximo de 3 dB a través de su trampa de banda ancha y no más de 0,5 dB por cada 100 metros a través del cable de alta frecuencia. Las características de transmisión de la señal en la línea de transmisión son buenas; las pérdidas ascienden de 0,02 a 0,2 dB por kilómetro en función de la tensión de línea y la frecuencia.

2.2.15 Fibra Óptica

Las fibras ópticas son filamentos finos de vidrio que se comportan como guías de onda para la luz. Esta capacidad de transmitir la luz a través de distancias considerables puede utilizarse para proporcionar enlaces de comunicación ópticos de información con enorme capacidad de carga y una inmunidad inherente a las interferencias electromagnéticas. Se requieren dos filamentos para una comunicación bidireccional: un transmisor Tx y un receptor Rx.

Un cable óptico consiste de una fibra óptica central que comprende núcleo, revestimiento y recubrimiento de amortiguación protectora rodeado por una cubierta externa protectora de plástico que contiene elementos de refuerzo que en algunos casos, están envueltos por una capa de blindaje. Convencionalmente, un pulso de luz

indica un bit 1 y la ausencia de luz indica un bit 0. El detector genera un pulso eléctrico cuando la luz incide en él.

Una fibra óptica puede ser utilizada como un enlace entre dos equipos terminales o como un enlace multiplexado que transporta todo el tráfico de comunicación, tales como voz, telecontrol y señalización de protección. En el último caso, el ancho de banda disponible de un enlace está dividido por medio de una técnica llamada Multiplexado por división de tiempo, o Time Division Multiplexing (TDM, por sus siglas en inglés), en un número de canales, cada uno de 64 kbits/s. Los equipos que llevan a cabo esta multiplexación en cada extremo de la línea se conocen como terminales de Modulación de Código de Pulso, o Pulse Code Modulation (PCM, por sus siglas en inglés). Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra, se denominan modos de propagación. Según el modo de propagación se tienen dos tipos de fibra óptica:

2.2.15.1 Fibra Óptica Multimodo

Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 km; es simple de diseñar y económico. El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

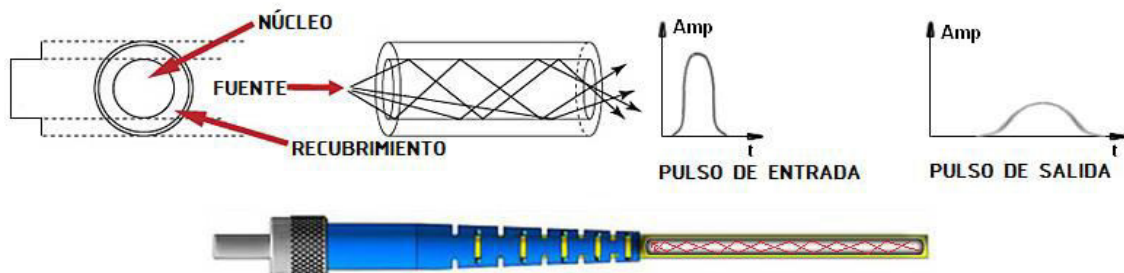


Figura 11. Fibra Óptica Multimodo

Fuente: Gerd, K. (2017).

2.2.15.2 Fibra Óptica Monomodo

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gb/s).

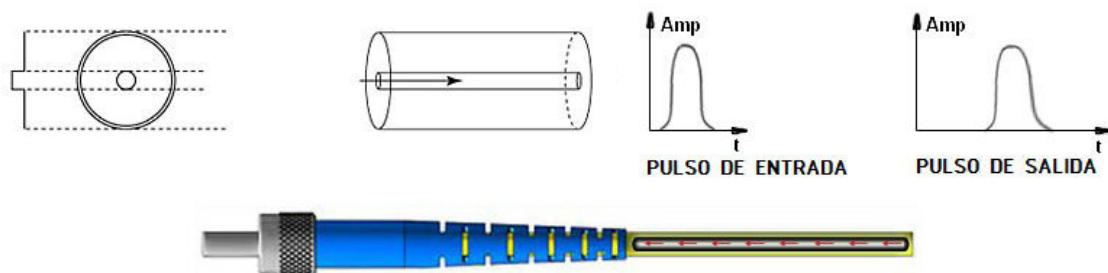


Figura 12. Fibra Óptica Monomodo

Fuente: Gerd, K. (2017).

2.2.16 Estándar IEC 61850

En 1988 el “Instituto de Investigación de la Energía Eléctrica o Electric Power Research Institute (EPRI) y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), iniciaron una arquitectura de comunicación especialmente desarrollada para la industria eléctrica; En 1997 EPRI y la IEEE unieron esfuerzos con la Comisión Electrotécnica Internacional o International Electrotechnical Commission (IEC) para construir un estándar internacional común para las comunicaciones de servicios eléctricos públicos. Según Nordell, D. (2008) estos esfuerzos se basan en conceptos y definiciones de la arquitectura de comunicación especialmente desarrollada para la industria eléctrica o “Utility Communication Architecture (UCA) y dieron lugar a la creación de un estándar denominado IEC 61850, que fue diseñado para proveer interoperabilidad, comunicaciones rápidas entre los dispositivos de campo, el tiempo garantizado de entrega de datos y soporte de configuración.

El estándar IEC 61850, publicado en 2005, fue desarrollado para control y protección de sistemas eléctricos mediante la estandarización del intercambio de información entre todos los “Dispositivos Electrónicos Inteligentes o Intelligent Electronic Devices (IED’s)” al interior de una subestación automatizada. IEC 61850 proporciona un marco de referencia para la integración de la subestación al especificar los requisitos de las comunicaciones, las características funcionales, la estructura de los datos en los dispositivos, la nomenclatura para los datos y la descripción de cómo interactúan las aplicaciones y controlan los dispositivos.

James A. y Aguilar R. (2011) indican que el desarrollo de la norma IEC 61850 es continuo, es por ello que se dio lugar a la Edición 2 de la misma, publicada entre 2010 y 2011. IEC 61850 se había definido exclusivamente para sistemas de automatización de subestaciones, pero desde entonces se ha extendido a otras áreas de aplicación, como se refleja en el cambio del título “IEC 61850 Ed. 2. Communication Networks and Systems for Power Utility Automation” IEC 61850 Ed. 2: Redes y Sistemas de Comunicación para la Automatización de Empresas de Servicio Eléctrico.

Desde 1995 aproximadamente 60 expertos procedentes de 14 países han estado trabajando en tres grupos de trabajo pertenecientes a IEC, entre los cuales se incluye un subconjunto del UCA, para conseguir alcanzar los siguientes objetivos:

- Cubrir toda la información relativa a las subestaciones, a través de pequeñas señales digitales para conducir el proceso, que incluye transductores digitales o sensores, y actuadores localizados cerca del proceso.
- Ampliar las iniciativas para la transferencia de datos de alta eficiencia.
- Promover la idea de la interoperabilidad en los sistemas, que sobrepasan las especificaciones de datos de codificación y comunicación
- Ampliar las extensiones de la información para que la futura comunicación siga el siguiente principio: se incorpora al sistema todo lo conocido, y cualquier aplicación futura se puede completar según reglas del sistema.

Según (IEEE. 2011), la misión del IEC abarca toda la tecnología electrotécnica, incluyendo electrónica, magnetismo, electromagnetismo, telecomunicaciones, producción y distribución energética, así como disciplinas generales asociadas tales como terminología, símbolos, compatibilidad electromagnética, medida y funcionamiento, formalidad, diseño y desarrollo, seguridad y medio ambiente. Los estándares internacionales del IEC facilitan el comercio internacional eliminando barreras técnicas y liderando los nuevos mercados y el crecimiento económico. Por ejemplo, un componente o sistema fabricado en un continente A siguiendo los estándares del IEC puede ser vendido y utilizado en otro continente B, a través del país Z.

Entre las ventajas del estándar están:

- Define un protocolo para toda la subestación.
- La arquitectura está abierta a pruebas futuras y facilita futuras extensiones, por lo tanto, esta salvaguardada de inversiones.
- Soporta todas las funciones de automatización de subestación que comprenden el control, la protección y la supervisión.
- Es un estándar mundial, es la única solución para interoperabilidad.
- Define los requisitos de calidad (la fiabilidad, la disponibilidad de sistema, la integridad de datos, la seguridad (el valor), etc.), condiciones ambientales, y los servicios auxiliares del sistema.
- Especifica los procesos de la ingeniería y sus herramientas, el ciclo de vida de sistema y las exigencias de garantía de calidad y el mantenimiento para el sistema de automatización de subestación.
- La flexibilidad permite la optimización de arquitecturas de sistema (la tecnología escalable).

2.2.16.1 Partes del Estándar

El estándar IEC 61850 es una serie de estándares que describen las comunicaciones Cliente/Servidor y las comunicaciones punto a punto o peer-to-peer,

así como el diseño y configuración de una subestación, pruebas, estándares ambientales y de proyecto [IEC, 2011].

El IEC 61850 se divide en 10 secciones:

IEC 61850 Edición 1

- IEC 61850-1: Introducción y Panorama General
- IEC 61850-2: Glosario
- IEC 61850-3: Requisitos Generales
- IEC 61850-4: Sistema y Gestión de proyectos
- IEC 61850-5: Requisitos de comunicación para las funciones y modelos de los dispositivos.
- IEC 61850-6: Descripción del idioma de configuración para la comunicación en subestaciones eléctricas relacionadas con IEDs
- IEC 61850-7-1: Estructura de comunicación básica para equipos de subestaciones y alimentadores - Principios y Modelos
- IEC 61850-7-2: Estructura de comunicación básica para equipos de subestaciones y alimentadores-Servicios de Comunicación Abstractos (ACSI)
- IEC 61850-7-3: Estructura de comunicación básica para equipos de subestaciones y alimentadores-Clases de datos comunes.
- IEC 61850-7-4: Estructura de comunicación básica para equipos de subestaciones y alimentadores-Clases de Nodos Lógicos Compatibles y Clases de Datos.
- IEC 61850-8-1: Asignación Específica Servicio de Comunicación (SCSM) Mapeo de
- IEC 61850-9-1: Asignación Específica de Servicio de Comunicación (SCSM)-Valores Muestreados en el Enlace Serial Unidireccional Punto a Punto.
- IEC 61850-9-2: Asignación Específica de Servicio de Comunicación (SCSM)-

- EC 61850-10: Pruebas de Conformidad

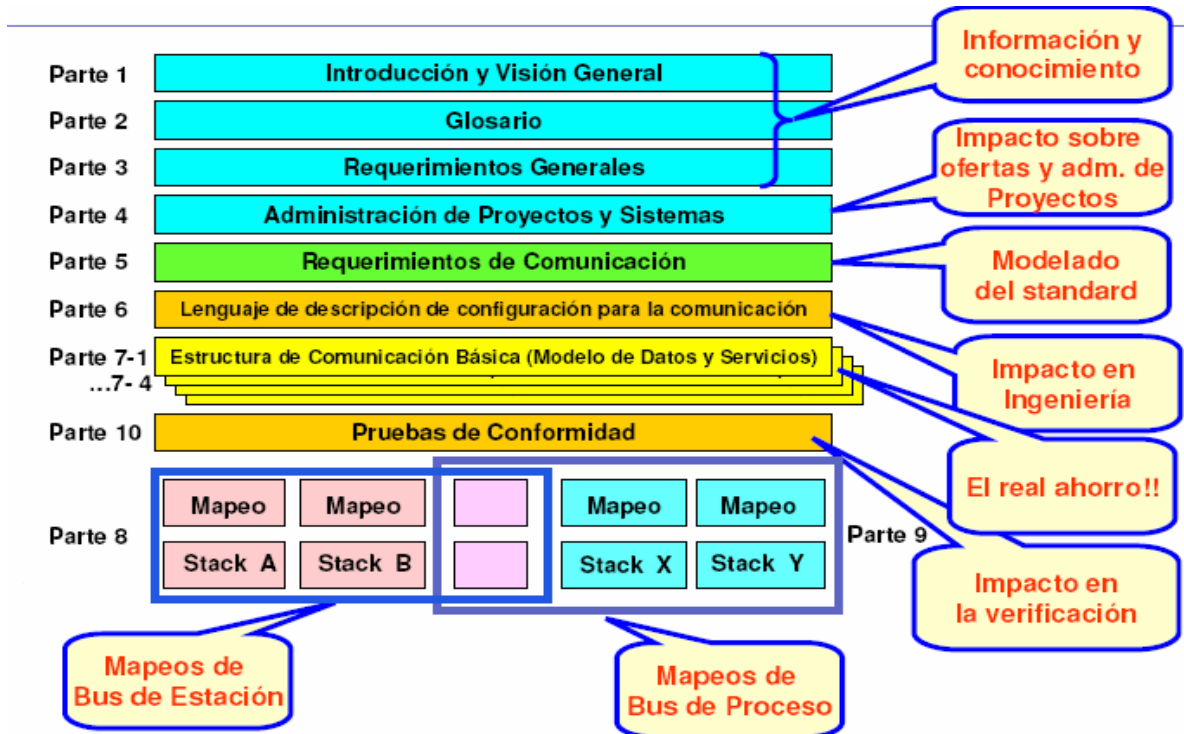


Figura 13. Estructura de la norma IEC 61850

Fuente: IEC. (2011).

2.2.17 Reingeniería

La reingeniería consiste en rediseñar un proceso determinado para generar una mejora continua. Por definición, la reingeniería es el método mediante el cual se aplica un cambio radical en continuidad a la operatividad de una organización, con el fin de alcanzar una mejora de su competitividad y rentabilidad, mediante la aplicación de técnicas mejor enfocadas, renovando los rumbos estratégicos, rediseñando los procesos claves, de manera que se centren en lograr una mejora para el entorno; hacer lo que ya se está haciendo, pero mejor y más inteligentemente, con un pensamiento nuevo y rediseño imprescindible de los procesos operativos. Este proceso de rediseño es posible gracias a los aportes de la tecnología, información y comunicaciones. La reingeniería es considerada una herramienta esencial del cambio por tratarse de innovación.

2.2.18 Cable de guarda OPGW

Consiste en un tipo de cable que se utiliza en la construcción de líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica. Tal cable combina las funciones de conexión a tierra y de comunicaciones. Un cable OPGW contiene una estructura tubular con una o más fibras ópticas en el mismo, rodeadas por capas de hilos aluminio y acero.

La parte conductora del cable sirve para unir las puestas a tierra de las estructuras adyacentes, protegiendo a las estructuras de las descargas atmosféricas. Las fibras ópticas dentro del cable se utilizan para la transmisión de datos a alta velocidad, ya sea para uso propio del sistema eléctrico de protección y control de la línea de transmisión, para la comunicación de voz y datos.

La fibra óptica en sí está aislada del resto del conductor aéreo de la línea de transmisión eléctrica, por lo que protege las señales que transmite contra la inducción producida por una descarga atmosférica, el ruido externo y la diafonía. Posee excelente estabilidad dimensional y excelente resistencia a la tensión mecánica.

2.3 Bases Legales

2.3.1 Ley de uso y referencia a normas ISO e IEC en la reglamentación técnica

ARTÍCULO 59: Los reguladores pueden hacer uso de las normas ISO e IEC de diversas maneras. La elección de utilizarlas en apoyo de sus reglamentos y de sus políticas ofrece numerosas ventajas. Las normas ISO e IEC dan apoyo al comercio y pueden servir de base a los reglamentos técnicos sin generar obstáculos innecesarios a los intercambios comerciales. Están ampliamente reconocidas en el mundo y ofrecen los mismos beneficios tanto si se aplican en países en desarrollo como en países desarrollados. La oferta de normas ISO e IEC de todo tipo es muy variada y cubren todos los grandes temas, desde las especificaciones de producto hasta los procedimientos de gestión. Las autoridades reguladoras pueden elegir entre una gama de técnicas para hacer referencia a las normas ISO e IEC y decidir el nivel apropiado de utilización y de evaluación de la conformidad que conviene aplicar. Esto garantiza que las autoridades reguladoras conservan el control total de sus requisitos

reglamentarios. La participación de las autoridades reguladoras en el proceso de normalización puede realizarse de diferentes formas, desde el simple intercambio de información como medio para destacar sus prioridades, hasta la participación activa como miembro de una delegación en una reunión de ISO o IEC. En los sectores en los que las autoridades reguladoras participan se observa una mejor coordinación y comunicación entre los niveles reglamentario y técnico.

2.3.2 Ley de soporte Comisión Electrotécnica Internacional

Se tendrá la ventaja de contar con un amplio alcance geográfico. La organización está compuesta por miembros nacionales de todo el mundo. Este alcance geográfico se combina con un entorno de múltiples partes interesadas que garantizan la representación de puntos de vista técnicos de gran riqueza, entre los que se incluyen aquellos relacionados con intereses económicos y sociales. Diferentes perspectivas provienen del nivel nacional y de una red de relaciones y de cooperación con organizaciones gubernamentales y no gubernamentales internacionales. Por lo tanto, el valor de las normas internacionales de IEC radica en el hecho de que son reconocidas, aceptadas e implementadas en el mundo entero. Los legisladores pueden ahorrar tiempo y dinero mediante la elección de normas IEC como soluciones a asuntos políticos y técnicos, ya que éstas se han acordado mediante un consenso alcanzado con la participación de todas las partes, incluyendo las autoridades reguladoras.

2.3.3 Ley Orgánica de Telecomunicaciones

ARTICULO 1: Esta Ley tiene por objeto establecer el marco legal de regulación general de las telecomunicaciones, a fin de garantizar el derecho humano de las personas a la comunicación y a la realización de las actividades económicas de telecomunicaciones necesarias para lograrlo, sin más limitaciones que las derivadas de la Constitución y las leyes. Se excluye del objeto de esta Ley la regulación del contenido de las transmisiones y comunicaciones cursadas a través de los distintos medios de telecomunicaciones, la cual se regirá por las disposiciones constitucionales, legales y reglamentarias correspondientes.

2.4 Definición de términos básicos

Caja de sintonía: Es un equipo que sirve para obtener una impedancia relativamente alta para una o más frecuencias, o para bandas de frecuencia.

Canales de Radio de Alta Frecuencia (Microondas): Un sistema de microondas o de radio, es un sistema de comunicación de banda ancha mediante la transmisión de varios canales de comunicación. En áreas donde la onda de frecuencia asignada no es limitada y donde las formas de comunicación son permitidas sin obstrucción, este sistema puede ser usado para la protección de un sistema de transmisión eléctrica. El canal de teleprotección por microonda requiere que el operador del sistema eléctrico porte una licencia que establece las restricciones técnicas de la señal de radio, ya que las señales deben tener una línea de visión, es decir, que entre las S/E no existan obstrucciones, esto es necesario para que el mensaje transmitido no tenga que ser redirigido con un repetidor.

Cortocircuito: Una corriente de cortocircuito es aquella que fluye fuera de las vías normales de conducción. Las corrientes de cortocircuito o falla pueden ser cientos de veces mayores que la corriente nominal de operación. Una falla de alto nivel puede ser de 50,000 amperes o mayor. Si no se interrumpe en el rango de unas milésimas de segundo, el daño destructivo puede llegar a ser de alta severidad para el aislamiento, fusión de los conductores, vaporización del metal, ionización de gases, arcos e incendios. Simultáneamente las corrientes de cortocircuito de alto nivel pueden provocar deformaciones y roturas debidas las fuerzas de los campos magnéticos.

Disparo: se refiere al nombre con que se conoce la apertura no voluntaria de un interruptor, el movimiento automático de un dispositivo por funcionamiento de la protección para desconectar uno o varios elementos de un circuito, subestación o sistema.

Estándar: Es el proceso de elaborar, aplicar y mejorar las normas que se aplican a distintas actividades científicas, industriales o económicas con el fin de ordenarlas y mejorarlas.

Ethernet: Es un estándar de redes de área local para computadores, por sus siglas en español Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones. Ethernet define las características de cableado y señalización; de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Fibra óptica. F.O: Son filamentos finos de vidrio que se comportan como guías de onda para la luz. Ésta capacidad de transmitir la luz a través de distancias considerables puede utilizarse para proporcionar enlaces de comunicación ópticos de información con enorme capacidad de carga y una inmunidad inherente a las interferencias electromagnéticas. Se requieren dos filamentos para una comunicación bidireccional: un transmisor Tx y un receptor Rx.

Hilo Piloto: Los cables piloto son conexiones continuas de cobre que interconectan las estaciones de señalización, también llamadas casetas de control de las subestaciones, los canales piloto son alambres discontinuos con transformadores de aislamiento o repetidores a lo largo de la ruta. Estos pueden ser colocados en trincheras o como un cable tendido en postes por una ruta separada para evitar los efectos de inducción que se presentarían al colocarlos cerca de la línea de transmisión.

Interconexión: Indica la conexión física y lógica entre dos o más redes de telecomunicaciones

OPLAT: Ondas Portadoras en Líneas de Alta Tensión, es una técnica que consiste en la transmisión de señales de alta frecuencia a lo largo de la línea eléctrica aérea.

Oscilografía: Para interpretar una falla es conveniente contar con la oscilografía de falla, que básicamente es una muestra en el orden de los milisegundos que la protección eléctrica obtiene antes y después de la falla, con una resolución que dependerá de la protección. Se expresa en muestras por ciclo, los tiempos totales donde se capta la oscilografía dependerá de lo que se configure en el relé de protecciones.

POTT: Esquema de disparo permisivo transferido de sobre alcance.

Protocolo: Es un conjunto de reglas que permiten que dos o más entidades de un sistema se comuniquen entre sí para transmitir información por medio de cualquier tipo de variación de una magnitud física. Se trata de las reglas o el estándar que define la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación, así como también los posibles métodos de recuperación de errores. Los protocolos pueden ser implementados por hardware, por software, o por una combinación de ambos.

PUTT: Esquema de disparo permisivo transferido de bajo alcance.

Relé: Es un dispositivo electromagnético. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Sobrecorriente: Corriente de sobrecarga o de corto circuito.

Subestación eléctrica: es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, para facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica

Teleprotección: Protección a distancia. Para aumentar el tiempo de actuación de las protecciones, se emplean esquemas de teleprotección que comunican relés ubicados en los extremos de las líneas de transmisión, comparando así las condiciones registradas por cada protección.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Para Arias, F. (2012), pág. 110: “La metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que fueron utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “cómo” se realizó el estudio para responder al problema planteado.

3.1 Tipo de Investigación

La investigación se enmarca como proyecto especial, debido a que se lleva a cabo de acuerdo a los objetivos planteados. Según la UPEL (2010) los proyectos especiales, en todos los casos, incluyen la demostración de la necesidad de la creación o de la importancia del aporte, según el caso, la fundamentación teórica, la descripción de la metodología utilizada y el resultado concreto del trabajo en forma acabada. Adicionalmente, son trabajos que lleven a creaciones tangibles, susceptibles de ser utilizadas como soluciones a problemas demostrados, o que respondan a necesidades e intereses de tipo cultural.

3.2 Diseño de la Investigación

El estudio se sustentó en una investigación documental y de campo ya que se estudió un problema con el propósito de ampliarlo con apoyo principalmente de trabajos previos, es decir, con la evolución histórica del objeto en estudio; y de campo por hacer uso de datos tomados de la realidad.

Arias, F. (2012), pág. 27, plantea la investigación documental de la siguiente forma:

"La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos".

Asimismo, según el Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales, UPEL (2010), en la Investigación de campo se presentan, describen, analizan e interpretan en forma ordenada los datos obtenidos en el estudio en función de las preguntas o hipótesis de la investigación.

3.3 Nivel de la Investigación

Descriptivo, para Arias, F. (2012), pág. 24, “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere”. El presente trabajo de investigación es de nivel descriptivo ya que se trata de obtener información acerca de un proceso, separando el sistema en elementos con el fin de establecer cada uno de los órganos que componen los esquemas de teleprotección en Venezuela, esto con el objetivo de caracterizar su funcionamiento y todas las variables que lo componen para así establecer su comportamiento.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Investigación

Según Arias, F. (2012), pág. 67, “Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información.”.

Los instrumentos de investigación son parte fundamental de la misma ya que son los medios por los cuales el investigador puede recolectar datos sobre la problemática en la que está trabajando.

3.4.1 Técnicas empleadas

3.4.1.1 Revisión Documental

La revisión documental es hacer una recopilación de información sobre textos e investigaciones generados por otros investigadores que tienen relación directa o indirecta con la problemática que es razón de estudio. Hurtado (2010) define este concepto como:

“... una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros, como texto en sí mismo, que constituyen los eventos de estudio” p.427.

3.4.1.2 Observación directa

La observación directa es el proceso en el cual el investigador recolecta datos directamente desde el medio ambiente del fenómeno a estudiar, por otro lado, Hurtado (2010) la define como: "... un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información para el cual el investigador se apoya en sus sentidos" p.459.

3.4.2 Instrumentos empleados

3.4.2.1 Entrevista semi-estructurada

Según Hurtado, J. (2010) la entrevista semi-estructurada es aquella en la que se trabaja con preguntas abiertas, adquiriendo características de conversación. Esta técnica consiste en realizar preguntas de acuerdo a las respuestas que vayan surgiendo durante la entrevista. Las entrevistas semiestructuradas ofrecen al investigador un margen de maniobra considerable para sondear a los encuestados, además de mantener la estructura básica de la entrevista. Incluso si se trata de una conversación guiada entre investigadores y entrevistados, existe flexibilidad. Teniendo en cuenta la estructura, el investigador puede seguir cualquier idea o aprovechar creativamente toda la entrevista.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

Según Arias, F (2012) "la población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación, ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio." (pág. 81). Para el caso en estudio la población se ajusta a todos los elementos que componen el sistema de teleprotección de las líneas de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional.

3.5.2 Muestra

Arias, F (2012) afirma que: "La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible". (Pág. 83). De acuerdo a la investigación, un subconjunto pertinente es la teleprotección implementada en el caso particular de la línea Arenosa-Horqueta en 765kV.

3.6 Fases de la Investigación

Las fases metodológicas comprenden una estructura paso a paso del seguimiento de los objetivos específicos ya establecidos en el presente trabajo de grado; con los que se pretende cumplir la meta final de la presente investigación, como lo es el objetivo general. La investigación se divide en cuatro fases metodológicas, para de esta forma obtener los resultados que permitan dar una solución efectiva. Las fases a seguir se describen a continuación.

Fase I. Diagnóstico del estado actual del esquema de Teleprotección de la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional.

En esta etapa se procederá a realizar una descripción del esquema de teleprotección actual de la red de 765kV; para este fin se utilizará apoyo documental como artículos científicos, trabajos de grado, información oficial de CONATEL y CORPOELEC, como la memoria y cuenta de los años 2013 y 2015, para así obtener datos como equipos de telecomunicaciones utilizados para la comunicación de subestaciones, tecnología actual, variables del sistema en estudio e información pertinente para lograr un diagnóstico acertado.

Fase II. Puntos críticos del esquema de Teleprotección de la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional.

Luego de realizar el diagnóstico, se procederá a una investigación exhaustiva para determinar cuáles son las fallas o puntos críticos del esquema actual, para posteriormente seleccionar la mejor alternativa.

Fase III. Reingeniería del esquema de teleprotección para la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional basada en el estándar IEC 61850.

En base a todos los puntos descritos a lo largo de este trabajo de grado, se podrá describir la propuesta de reingeniería del esquema de teleprotección del SEN a través de 4 puntos principales:

- Se realizará un estudio comparativo de los diferentes esquemas de teleprotección con el fin de seleccionar el más adecuado.

- Se abordarán las diferentes alternativas referentes al medio de transmisión de datos implicado en la señalización de protección, debido a que los canales de comunicación logren poseer una característica de dependabilidad y seguridad de alto rango y lograr un control más completo del sistema de potencia.
- Se analizarán las ventajas que se obtienen de una migración de sistemas analógicos a digitales.
- Se propondrá el uso de tecnología teniendo en cuenta la filosofía de la norma IEC61850, la cual posee aceptación a nivel mundial, siendo el primer estándar que considera todas las necesidades de comunicación dentro de subestaciones.

Fase IV. Estudio de factibilidad para la implementación del diseño propuesto.

Posteriormente, se procederá a determinar si es factible o no la implementación de la propuesta de reingeniería en el esquema de teleprotección del SEN, involucrando los aspectos técnicos, operativos, ambientales, sociales y económicos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Fase I. Diagnóstico del estado actual del esquema de Teleprotección de la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional.

CORPOELEC es una empresa del estado venezolano destinada a proveer servicio eléctrico al país, contando para esto con plantas de generación, redes de transmisión, subestaciones y redes de distribución de media y baja tensión, a partir de las cuales se suministra el servicio eléctrico a los distintos centros de consumo. CORPOELEC se encarga de administrar 15 plantas termoeléctricas, 4 plantas hidroeléctricas, más de 50 subestaciones y cientos de miles de kilómetros de líneas de transmisión, de éstas las más importantes son las de alta tensión (765kV, 400kV, 230kV y 115kV) que constituyen la Red Troncal de Transmisión

Para el caso en estudio y hacer posible un diagnóstico, se tomó como muestra la red de transmisión existente entre las subestaciones Arenosa y Horqueta, de 765kV con una distancia de 113km, operadas por CORPOELEC. Se seleccionaron estas líneas debido a que a través de ellas existe la conexión del principal centro generador del país (Guri, Macagua y Caruachi) con el sistema centro occidental. Así como también, por factibilidad en la investigación debido a la ubicación física de la subestación la Arenosa, que se encuentra en el estado Carabobo. Para explicar el funcionamiento del esquema en cuestión, se hizo uso de diagramas elaborados por CORPOELEC en el año 2010, aún vigentes, que permiten identificar los elementos que componen el sistema de teleprotección actual de las líneas.

En la figura 14, se presenta el esquema general de teleprotección con canal de onda portadora, bajo el cual están regidas las líneas del caso en estudio, así como también muchas líneas del país.

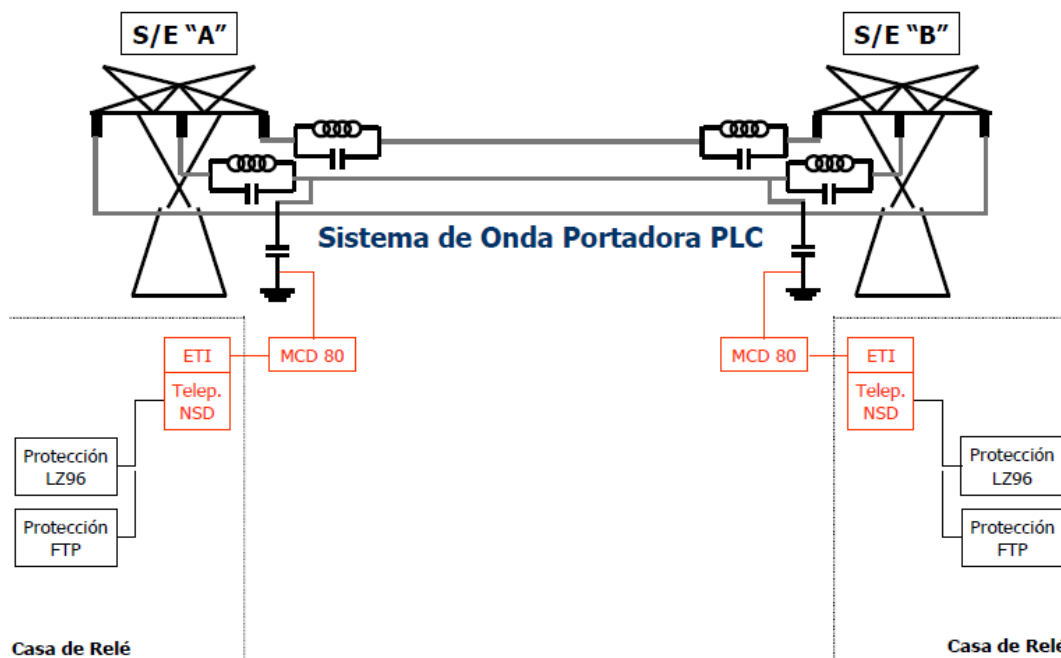


Figura 14. Esquema general del sistema de teleprotección PUTT.
Línea Arenosa-Horqueta
Fuente: CORPOELEC (2010).

En el esquema de la figura 14 se muestra la trampa de onda ubicada en las líneas, también se presenta el dispositivo de acoplamiento MCD80 que, según Mercado, J., Cruz, C. y López, R. (2013) su función es acoplar la impedancia de la línea de transmisión con la impedancia del equipo de onda portadora, luego, en la etapa de relé, se observan los equipos de teleprotección NSD, que se interconectan con el relé LZ96 para la protección de alta impedancia y la lógica de disparo. El protocolo de control FTP es un protocolo TCP antiguo, con el que se establece la comunicación de los relés. En la figura 15 se presenta el esquema de operación de la casa de relés. Con el fin de crear redundancia en la protección de línea, se utilizan dos sistemas de teleprotección iguales paralelos, a través del equipo NSD40 se establece la comunicación de subalcance en teleprotección primaria y el sobrealcance como secundaria. El equipo NSD60 utiliza tres canales por los que se transmite el disparo transferido directo, el PPX 401 y sobrealcance en el sistema secundario. En la alta

frecuencia 2 (AF2) se establece de la misma manera a diferencia que se ha agregado el relé 316*4 F21, para la protección de los transformadores de potencial (TP), dedicándoles el canal 3.

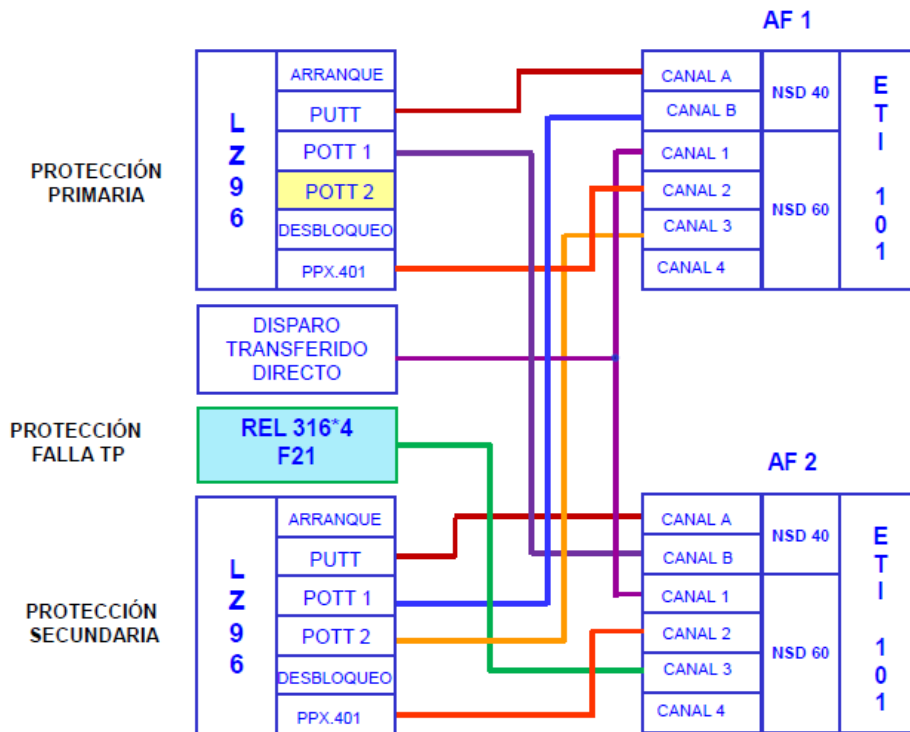


Figura 15. Esquema de teleprotección de la línea Arenosa-Horqueta de 765kV.
Fuente: CORPOELEC (2010)

Para mostrar los resultados del diagnóstico de una forma dinámica y comprensible, se realizó una simulación en la que se logra apreciar el funcionamiento del esquema de teleprotección actual. Se muestra en la figura 16.

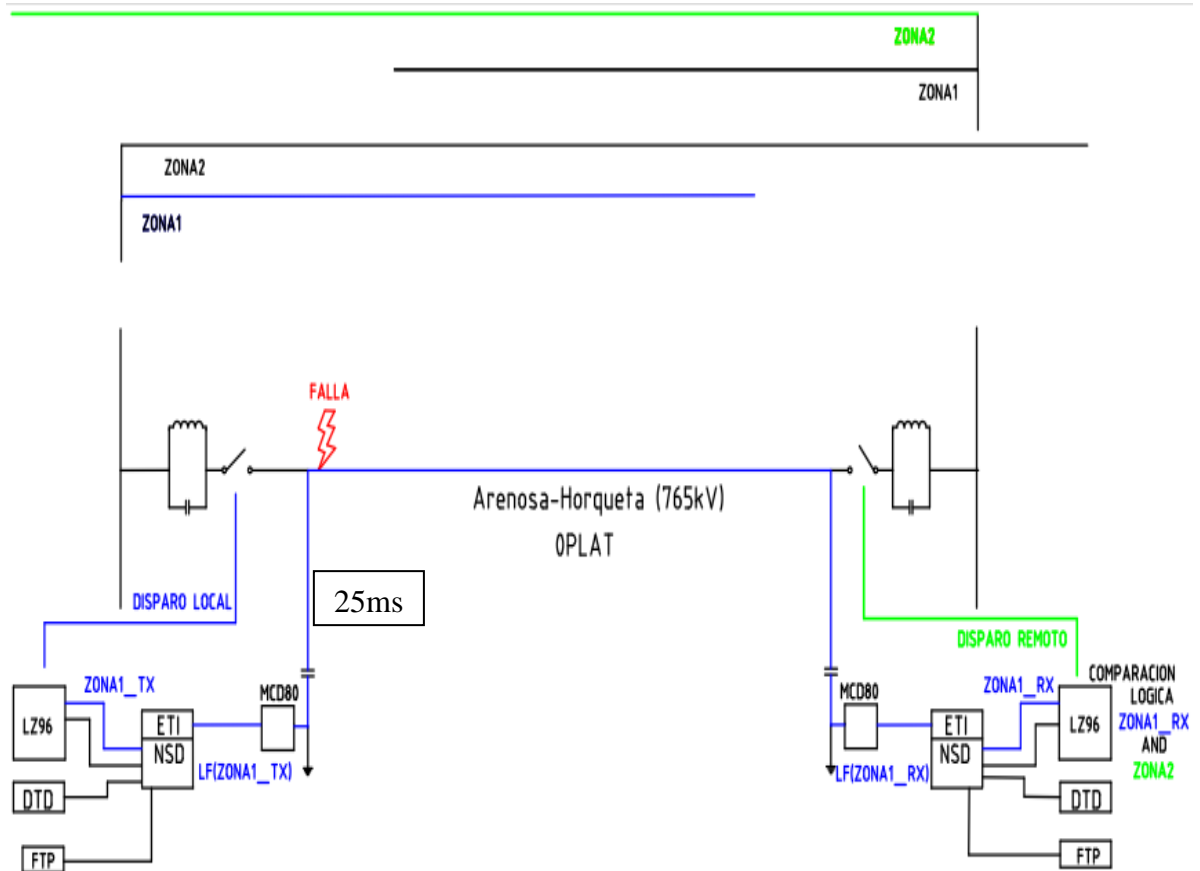


Figura 16. Simulación del funcionamiento del esquema de teleprotección implementado actualmente en la línea Arenosa-Horqueta

Fuente: Herrera A. y Zanotti H. (2019).

La falla se simulo en el extremo de la subestación Arenosa, luego de 0.2s se detecta la irregularidad en zona 1 del extremo local, instantáneamente realiza el disparo y envía la señal de teleprotección al otro extremo. Este proceso demora un intervalo de tiempo de 25ms. El equipo de teleprotección recibe la señal de LF que proviene de la línea de alta tensión y la transmite al relé LZ96 de manera que este pueda verificar que la falla se ubica en su zona 2, si la verificación da un resultado positivo, se realiza el disparo en el extremo remoto, dejando despejada la línea perjudicada.

Adicionalmente, para finalizar, constatar y reforzar el diagnóstico realizado de la teleprotección en las líneas de 765kV se tiene de la entrevista semi estructurada, realizada a un Ingeniero Electricista experto en protección y comunicaciones de CORPOELEC, en la gerencia de producción del sistema central, que se desenvuelve desde hace varios años en el área de teleprotección en subestaciones del país, lo siguiente:

“... El filtro de acoplamiento y el equipo de onda portadora están conectados por cable coaxial de alta frecuencia, las señales de OPLAT pueden viajar hasta por 480 km sin repetidores. Las líneas de transmisión están construidas para sobreponerse a los peligros y elementos naturales. Así, la línea provee de un canal relativamente confiable a los sistemas vía OPLAT. Sin embargo, bajo condiciones de falla sobre la fase en la cual se establece la comunicación, la información enviada deja de ser confiable debido a la antigüedad de los equipos y poco mantenimiento...”

“...Debe tomarse en cuenta que las trampas de onda no aíslan la señal completamente a una línea en particular, debido a esto no es suficiente para evitar la interferencia en líneas adyacentes...”

4.2 Fase II. Puntos críticos del esquema de Teleprotección de la red de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional.

4.2.1 Uso de protocolos propietarios en las distintas subestaciones.

Existe diversidad de fabricantes de equipos de teleprotección, entre los cuales destaca Siemens, ABB y General Electric, que se han encargado de satisfacer una necesidad latente en los sistemas autónomos de las subestaciones, éstos a su vez han desarrollado protocolos que se deben seguir para la implementación de sus equipos en determinadas subestaciones, como consecuencia de esto se ha creado una variedad de subestaciones con distintos protocolos que en cuanto a compatibilidad se han visto perjudicadas. También perjudica el desarrollo de nuevos esquemas de teleprotección, de igual manera se generan limitaciones ante la adquisición de equipos de teleprotección a la hora de reemplazar alguno.

4.2.2 Baja confiabilidad en el canal de comunicación

Un punto crítico en cuanto al sistema de Onda Portadora en Líneas de Alta Tensión es el limitado ancho de banda que ésta posee debido a que las bandas de frecuencia para los enlaces OPLAT están en el rango de 35 a 500kHz. Esta banda, está sometida a varias restricciones (servicios de radiodifusión, servicios de radionavegación, aeronáutica, etc.). Además, a fin de evitar interferencias entre los propios enlaces de OPLAT, es necesario tener alguna separación geográfica entre los enlaces que operan en las mismas frecuencias. En términos generales, una frecuencia solo se puede repetir después de dos tramos de línea, es decir, dos subestaciones. El rango de frecuencia más utilizado en la onda portadora es de 30 a 300 kHz correspondiente a la banda LF (Low Frequency). Este rango de frecuencia es suficientemente alto para que quede aislado de la frecuencia del sistema, que es de 60Hz y del ruido que este produce, sin embargo, no es tan alta como para tener una atenuación excesiva.

La confiabilidad del sistema de teleprotección, se refiere a la capacidad de emitir y recibir comandos válidos en presencia de interferencia y/o ruido. En el caso de interferencia como la que puede existir en los sistemas OPLAT, un comando enviado desde el extremo remoto de un sistema de teleprotección se considera perdido si:

- a) El estado del comando en el extremo de recepción está ausente o con retardo excesivo.
- b) El estado del comando en el extremo de recepción es más corto que una duración específica.

La confiabilidad de un OPLAT generalmente es media, por ser dependiente de la disponibilidad de la línea de transmisión en que está instalado, es esta línea la que determina la disponibilidad del OPLAT como sistema de comunicación. Un OPLAT puede quedar fuera de operación si los conductores de la línea están aterrizados por razones de seguridad durante trabajos en la línea.

Los altos niveles de ruido se derivan de la caída de rayos y la inicialización de una falla o liberación de la misma sobre la fase que lleva la señal. Aunque estos son de corta duración, durando sólo unos pocos milisegundos como máximo, pueden causar sobrecarga de los equipos de recepción de la onda portadora. Los sistemas de señalización utilizados para disparo en particular, deben incorporar características de seguridad adecuadas para evitar mal funcionamiento, implementando ya sea un esquema tipo PUTT o POTT.

4.2.3 Tecnología y equipos obsoletos.

Según información soportada por CORPOELEC y proyectos de investigación, se coincide que en 1966, empieza el uso de equipos y sistemas de teleprotección que actualmente se mantienen en Venezuela, haciendo uso de tecnología de los 70 y 80. Se implementa la teleprotección utilizando relevadores de comparación de fase, los cuales son un tipo de relevador diferencial que compara los ángulos de fase de las corrientes que entran en un terminal de una línea de transmisión con los ángulos de fase de las corrientes que entran en todas las terminales remotas de la misma línea. Toda esta comunicación se realiza a través de OPLAT.

En los últimos 30 años la onda portadora se ha usado para la teleprotección entre subestaciones. Sin embargo, el 27 de octubre del 2005 se publicó un documento con el título “Selection of Pilot Relaying Communication” en los Estados Unidos, en la Conferencia 32 Anual de Relevadores de Protección del Oeste (32nd Annual Western Protective Relay Conference), donde describe la actualización de los canales de comunicación en la subestación “Tiger”. Esta subestación consta de 7 líneas de transmisión de 765kV protegidas por esquemas de comparación direccional a través de OPLAT. En este documento se especifica que los equipos de acoplamiento del mismo generaron disparos en falso en múltiples ocasiones y, dado que estas líneas eran de gran importancia, se realizó una actualización total, sustituyendo el esquema de comparación direccional vía OPLAT por un esquema de protección distancia permisivo POTT a través de fibra óptica

4.3 Fase III. Reingeniería del esquema de teleprotección para la red de transmisión del Sistema Eléctrico Nacional.

Como se mencionó previamente, el objetivo de un sistema de teleprotección es desconectar en el menor tiempo posible y con un alto grado de selectividad la sección fallada del sistema de potencia. En base a todos los puntos descritos a lo largo de éste trabajo especial de grado, se describe la propuesta:

4.3.1 Esquema a proponer para la adecuación.

A continuación, se establece una comparación entre los esquemas de teleprotección más utilizados, con el fin de seleccionar el más pertinente de implementar en la adecuación. La comparación se presenta en la tabla 1.

CRITERIO	DUTT	PUTT	POTT
Velocidad de operación	Alto	Alto	Muy Alto
Confiabilidad	Medio	Alto	Alto
Selectividad	Medio	Alto	Alto
Sensibilidad	Bajo	Medio	Alto
Compatibilidad con auto-recierre	Si	Si	Si

Tabla 1. Comparación de los esquemas de distancia

Fuente: Herrera A. y Zanotti H. (2019).

En base a la lógica de operación, el disparo transferido con sobre alcance permisivo (POTT) destaca entre los otros esquemas, la velocidad de operación es más alta que el DUTT y el PUTT, así mismo resulta ser de alta confiabilidad al igual que el PUTT y ambos están por encima del DUTT, también cuenta con una alta selectividad y sensibilidad, que están por encima de las que presentan los esquemas DUTT y PUTT. Por lo anteriormente expuesto, el esquema de disparo permisivo transferido de sobrealcance, o Permissive Over-Reach Transfer Trip (POTT) es el seleccionado para la reingeniería del esquema de teleprotección del Sistema Eléctrico Nacional.

En este esquema, utilizamos el elemento de zona 2 de distancia que sobrealcanza la línea de transmisión para enviar la señal de solicitud de disparo al

extremo remoto, con el objetivo de convertir el esquema actual en uno más sensible y más rápido. En base a esto, zona 2 es más sensible que zona 1 y, a su vez, al detectar fallas un poco antes, acelera la operación de los equipos en milisegundos. La figura 17 corresponde a la simulación de la lógica por medio de la cual opera este esquema, realizada mediante el software NEPLAN V. 5.5.3

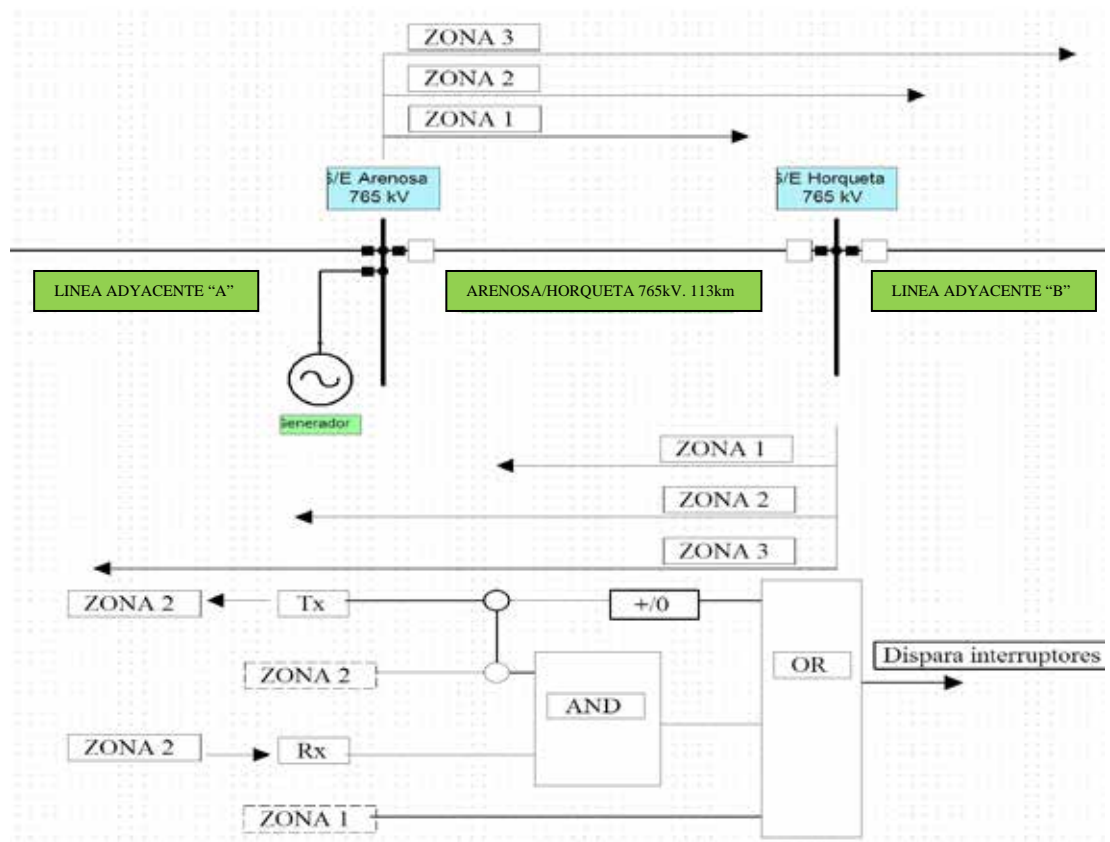


Figura 17. Lógica del Esquema de Disparo Permisivo Transferido de Sobre Alcance (POTT)

Fuente: Software NEPLAN. Herrera A. y Zanotti H. (2019)

De acuerdo a la lógica mostrada, una vez activado el bit “ZONA 2 PKP” en el relé ubicado en el extremo local S/E Arenosa, está listo para transferir el bit llamado “POTT_Tx” al extremo remoto S/E Horqueta, donde este recibirá el bit como “POTT_Rx”. Al igual que en el esquema permisivo de bajo alcance, en lugar de realizar el disparo directo, solicita confirmación de disparo, siendo nuestra

confirmación la detección de la falla en el extremo de la subestación Horqueta por zona 2. Esto puede verse en la sección de la lógica con una compuerta “AND”, la cual, al tener los elementos conectados como entradas con pulsos positivos, resultará en un pulso positivo; de lo contrario, será un cero lógico.

Se puede observar que esta lógica es similar a la protección con PUTT, la única diferencia entre ambas es el uso de elementos de zona 2 para accionar el esquema, esto es debido a la sensibilidad de las zonas. Es más conveniente tener una zona más sensible para la detección de la falla, ya que de este modo se puede abrir el interruptor en tiempos menores.

Observando la figura 18, se puede apreciar una relación de la sensibilidad de las zonas ante la detección de fallas.

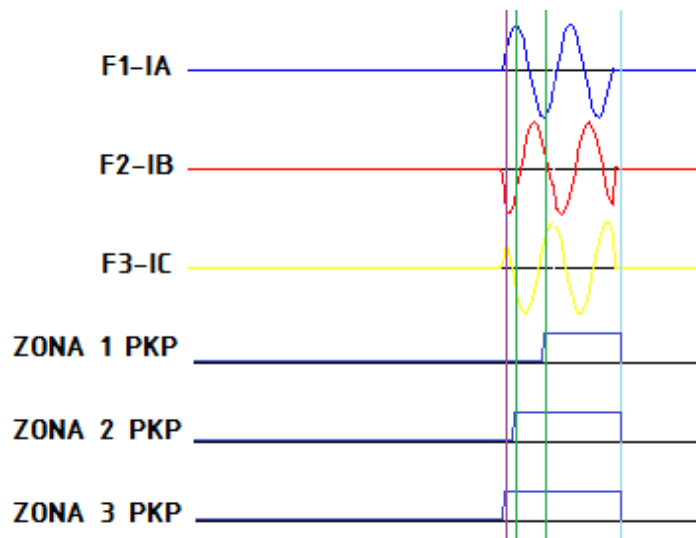


Figura 18. Ejemplo de la sensibilidad de las zonas de protección ante una falla.

Fuente: Gerd, K. (2017).

Como se muestra en la figura, conforme más alcance tiene la zona, más sensible es, de modo que zona 3 es más sensible que zona 2 y zona 2 es mucho más sensible que zona 1. Cabe resaltar que la diferencia entre la sensibilidad de zona 2 y zona 3 es menor comparada con la diferencia entre la sensibilidad entre zona 1 y zona 2. Por lo tanto, entre más abarque nuestra zona, más sensible será.

Ahora, analicemos una “falla 1”, para el esquema con POTT. La figura 19 representa una falla para este esquema.

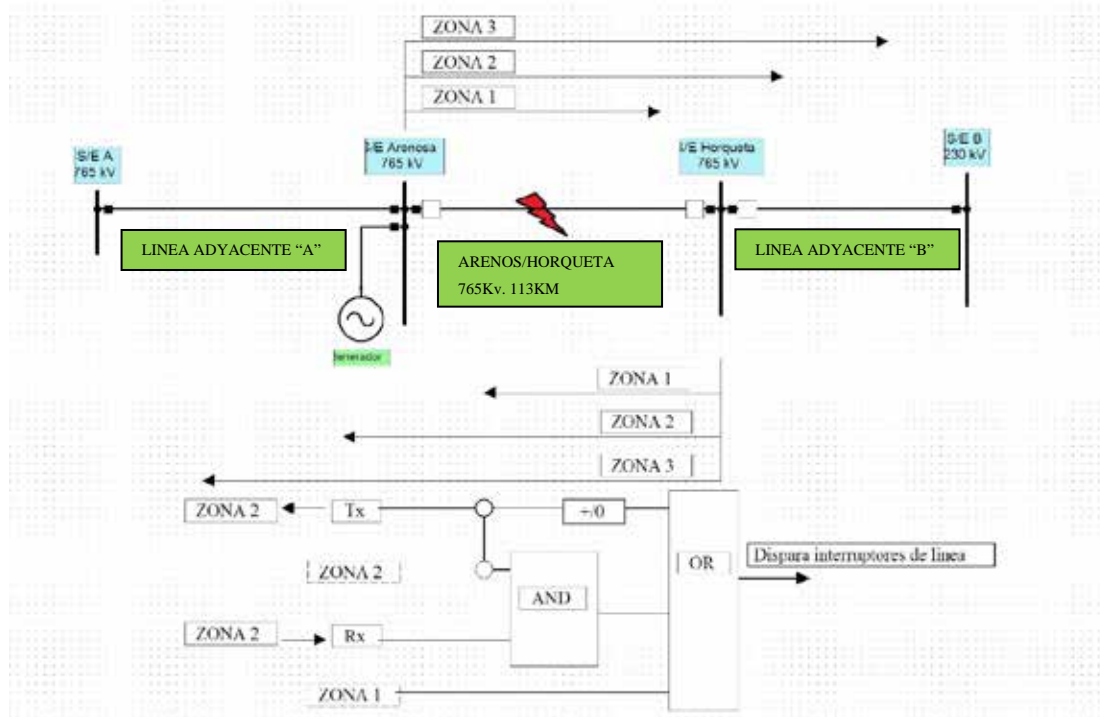


Figura 19. Esquema de Disparo Permisivo Transferido de Sobre Alcance (POTT) en condiciones de falla.

Fuente: Software NEPLAN. Herrera A. y Zanotti H. (2019)

Para esta condición, ambos relés detectan la falla en zona 1 y operan instantáneamente. Note que al implementar el esquema POTT, zona 2 detecta antes la falla que zona 1, debido a las características de sensibilidad que se mostraron en la Figura 17. Por lo tanto, dependiendo de los tiempos de transmisión de datos del canal de comunicación, es probable que la operación de disparo del interruptor se realice por medio de POTT y no por zona 1, ya que ninguna de las protecciones tiene un retraso intencionado de tiempo.

4.3.2 Canal de comunicación

Con el objetivo de seleccionar el canal de comunicación adecuado se realizó un estudio comparativo entre los que habitualmente se utilizan para los sistemas de

teleprotección, como lo son el cable de hilo piloto, OPLAT y fibra óptica; del análisis se obtuvo lo siguiente:

En cuanto a costo, naturalmente la fibra óptica presenta un costo más elevado con respecto a OPLAT e hilo piloto, los cuales poseen un costo medio y bajo respectivamente, sin embargo, la fibra óptica posee ventaja frente al canal de radio, que tiene un costo muy alto. Al analizar los canales de comunicación es indispensable estudiar la dependabilidad, ya que se refiere a la capacidad de proveer un servicio en el cual se puede confiar. En el canal de hilo piloto la dependabilidad es baja; para el caso de OPLAT y radio es media-alta, a diferencia del canal de fibra óptica que presenta muy alta dependabilidad.

Desde que se construyó el primer sistema de protección de línea utilizando canales de comunicación, las diferentes opciones entre los tipos de canales de comunicación han incrementado y se les ha dado atención a los métodos para incrementar su seguridad e independencia. La integridad del canal de comunicaciones es extremadamente crítica durante los periodos de mayor estrés en el sistema, para prevenir falsos disparos y garantizar que el equipo de protección opere en caso de ser necesario.

La seguridad abarca la capacidad de no recibir alteraciones externas en los mensajes. En los canales de comunicación de hilo piloto, OPLAT y microondas se presenta una seguridad media, mientras que en fibra óptica es alta. Los canales de comunicación deben poseer una característica de dependabilidad y seguridad de alto rango, como lo es la fibra óptica. En años recientes, los sistemas de fibra óptica se han convertido en la opción más habitual para las nuevas instalaciones; esto se debe principalmente a su completa inmunidad de interferencias eléctricas.

El uso de cables de F.O también aumenta en gran medida el número de canales de comunicación disponibles para cada conexión de fibra física y, por lo tanto, permite un control más completo del sistema de potencia debido al gran ancho de banda que ésta posee.

Las comunicaciones por fibra óptica están bien establecidas en la industria

del suministro eléctrico, son el medio preferido para el enlace de comunicación entre subestaciones, además se puede aprovechar, para que una central telefónica de una compañía externa pueda alquilar el uso de la fibra, ya que, con el multiplexado de esta, es posible utilizar la misma fibra óptica para enviar la información, así la compañía suministradora de energía eléctrica podría obtener ganancia extra por alquilar las fibras que se encuentren multiplexadas.

Por lo anteriormente expuesto, la fibra óptica es esencial en el esquema de teleprotección propuesto para la línea de transmisión instalada. Se puede tomar ventaja de la existencia de esta vía de comunicación, específicamente la fibra que se encuentra en el interior de los cables de guarda como un canal alternativo para la teleprotección.

4.3.3 Uso de la norma IEC 61850

Hasta el momento en el desarrollo del trabajo de grado, se ha seleccionado el esquema de transferencia de disparo para la teleprotección y el canal de comunicación más adecuado en base a las características de la línea, siendo el esquema de disparo permisivo transferido de sobrealcance el esquema de transferencia de disparo más adecuado y el canal de fibra óptica para la comunicación.

El nuevo estándar IEC 61850 para la comunicación en las subestaciones, trae la interoperabilidad de los sistemas y arquitecturas flexibles en el dominio de la automatización de las subestaciones. Fue diseñado para proveer interoperabilidad, comunicaciones rápidas entre los dispositivos de campo, el tiempo garantizado de entrega de datos y soporte de configuración.

La interoperabilidad prevista en el nuevo estándar IEC 61850 es mucho más que una simple transferencia de datos, también abarca el intercambio de información entre dos o más dispositivos similares. El receptor tiene que entender no solo la estructura de los datos (sintaxis), sino que también deberá comprender su significado, es decir, la semántica basada en los atributos de los datos recibidos en la comunicación. El estándar facilita la conexión de dispositivos nuevos en cualquier

instante del tiempo de vida del sistema sin la necesidad de realizar una nueva ingeniería del sistema completo. También permite mejorar el sistema de comunicación, sin cambiar ninguna función y base de datos de la automatización de sistemas. Con el desarrollo del estándar IEC 61850 en el 2011, se incorporó la comunicación entre las subestaciones para aplicaciones de teleprotección, el cual engloba una nueva forma de comunicación entre subestaciones mejorando drásticamente la teleprotección.

4.3.4 Migración de sistemas analógicos a digitales.

Se propone el uso de un relé digital que adopta la filosofía del IEC 61850 para la implementación del esquema de teleprotección POTT. El relé “Multilin D60” de General Electric, consiste en un dispositivo digital especializado para la protección de líneas de transmisión de cualquier nivel de tensión. Para proveer una mayor flexibilidad al usuario, la lógica interna del relé puede combinar parámetros fijos del equipo con parámetros programados por el usuario, permitiendo así un control sobre todas las variables lógicas. Debido a su alta tecnología permite además supervisar y monitorizar distintas características del sistema. Los equipos que brindan actualmente la teleprotección, como se ha mencionado a lo largo de este trabajo especial de grado, corresponden a relés electromecánicos que se encuentran en servicio desde hace más de 40 años, habiendo presentado en varias ocasiones disparos no deseados y errores de actuación. Para evitar que estas situaciones sigan ocurriendo y a su vez lograr mejorar la calidad del servicio, se sugiere a CORPOELEC la modernización de los equipos de protección, empleando relés digitales capaces de brindar una mayor velocidad de respuesta. Para este caso se propone una serie de relés digitales marca General Electric Multilin, modelo D60, el cual además de brindar la protección de distancia, permite integrar en el mismo equipo funciones adicionales a ella, como por ejemplo: “Inicio de Falla Interruptor”, “Inicio de Recierre”, “Protección Direccional de Sobre-corriente de Neutro”, entre otras, y a su vez brinda la posibilidad de supervisar las corrientes, tensiones, potencia, factor de potencia y frecuencia del

sistema, generando las oscilografías asociadas que permitirán controlar y supervisar al sistema constantemente.

A manera de resolver otro inconveniente encontrado en el sistema actual de teleprotección, los relés que brindan actualmente las protecciones son equipos que ocupan grandes espacios debido a sus dimensiones, a diferencia de esto, el relé Multilin D60 presenta un tamaño reducido respecto a estos equipos, generando así una disminución de los espacios requeridos para implementar las protecciones. Además, para acelerar la velocidad de actuación de dichas protecciones, cada relé cuenta con su respectivo equipo de teleprotección Marca ABB Modelo “NSD570”, a través del cual se realiza la comunicación entre las protecciones ubicadas en cada extremo de la línea, permitiendo así obtener disparos casi instantáneos.

Una gran ventaja que tiene el Relé D60 respecto a los relés electromecánicos, es el hecho de que permite al usuario seleccionar entre distintos esquemas de teleprotección, dependiendo de las necesidades y exigencias, para aprovechar al máximo las bondades brindadas por este nuevo equipo. En la tabla 2 se mencionan las principales funciones disponibles en el relé.

Número de la Función	Función
21G	Distancia a Tierra
21P	Distancia entre Fases
25	Verificador de Sincronismo
27P	Bajo-voltaje de Fase
27X	Bajo-voltaje Auxiliar
32N	Vatímetro Direccional de Secuencia Cero
50BF	Falla de Interruptor
50DD	Detector de Corriente de Perturbación
50G	Sobre-corriente Instantánea de Tierra
50N	Sobre-corriente Instantánea de Neutro
50P	Sobre-corriente Instantánea de Fase
50_2	Sobre-corriente Instantánea de Secuencia Negativa
51G	Sobre-corriente Temporizada de Tierra
51N	Sobre-corriente Temporizada de Neutro
51P	Sobre-corriente Temporizada de Fase
51_2	Sobre-corriente Temporizada de Secuencia Negativa

59N	Sobre-voltaje de Neutro
59P	Sobre-voltaje de Fase
59X	Sobre-voltaje Auxiliar
59_2	Sobre-voltaje de Secuencia Negativa
67N	Direccional de Sobre-corriente de Neutro
67P	Direccional de Sobre-corriente de Fase
67_2	Direccional de Sobre-corriente de Secuencia Negativa
68	Bloqueo por Oscilación de Potencia
79	Recierre Automático

Tabla 2. Funciones disponibles en el relé D60

Fuente: General Electric (2011).

4.3.5 Diagrama de interconexión de equipos.

En base a toda la información recopilada y analizada se presenta el esquema de teleprotección con el objeto de proponer la reingeniería destinada para la red de transmisión de 765kV entre las subestaciones Arenosa y Horqueta. En la figura 20 se describe el diagrama de conexión en el cual se utiliza el relé L90 diferencial de línea (85L) y el relé Multilin D60 para la función de distancia (21) y sobre corriente direccional (67/67N). Los parámetros de tensión y corriente de la línea se toman a través del transformador de potencial (TP) y transformador de corriente (TC) respectivamente, a través de los cuales se adaptan los valores de la línea para la medición.

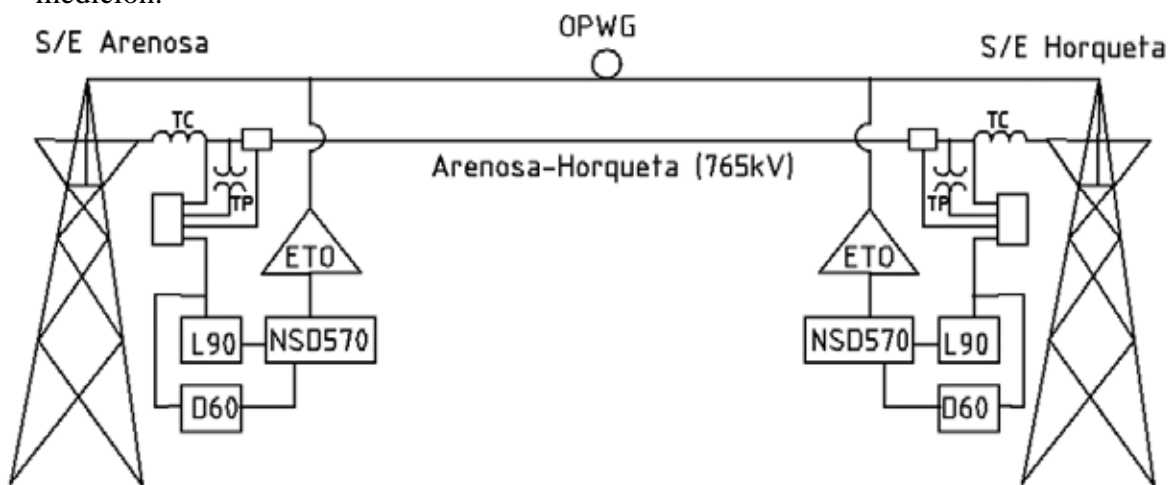


Figura 20. Esquema de interconexiones propuesto para la teleprotección de línea Arenosa-Horqueta de 765kV.

Fuente: Herrera A. y Zanotti H. (2019)

El equipo de teleprotección NSD570 se interconecta con la casa de relés para transmitir las señales de protección primaria 1 (pp1), protección primaria 2 (pp2), disparo transferido directo (DTD) y falla de interruptor (relé 50FI) en formato de transmisión digital E1, que lleva datos en una tasa de 2.048Mbps hasta el equipo terminal óptico (ETO), que se encarga de generar a partir de los dígitos de señal eléctrica, haces de luz, en el que un “1” corresponde con encendido y un “cero” corresponde con apagado, estos haces de luz se utilizan para transmitir los datos de teleprotección a través de la fibra óptica que se encuentra en la parte interna del cable de guarda llamado Cable Óptico a Tierra (OPGW), esta fibra óptica es monomodo de 48 hilos y con bajas pérdidas, pudiendo transmitir la información a grandes distancias, cabe destacar que la fibra óptica utilizada es dopada con erbio, a esta fibra se le puede inducir una ganancia óptica sin necesidad de llevar al dominio eléctrico para amplificar y luego al dominio óptico de nuevo, esto trae como ventaja el uso de amplificador de fibra para líneas que sobrepasen los 200km de distancia.

A continuación, se describe a que protección ira destinado cada relé:

- Para la protección primaria 1 se asigna la función de diferencial de línea (85L) del relé L90.
- Para la protección primaria 2 se asignan las funciones de distancia (21) y sobre corriente direccional (67N) del relé Multilin D60.
- El disparo transferido directo (DTD) será proporcionado por el relé REL 316*4 F21.
- Para el disparo por falla de interruptor se hará uso del equipo 50FI.
- El código de disparo transferido con sobre-alcance permisivo (POTT) se envía como protección primaria.

Para la protección de respaldo se propone el uso del sistema de OPLAT utilizando el equipo de teleprotección ETL600 para protección primaria, con el relé diferencial de línea (85L) y el disparo transferido directo (DTD).

4.3.6 Simulación.

El esquema de teleprotección propuesto bajo los lineamientos del estándar IEC 61850, básicamente funcionaría como muestra la figura 21.

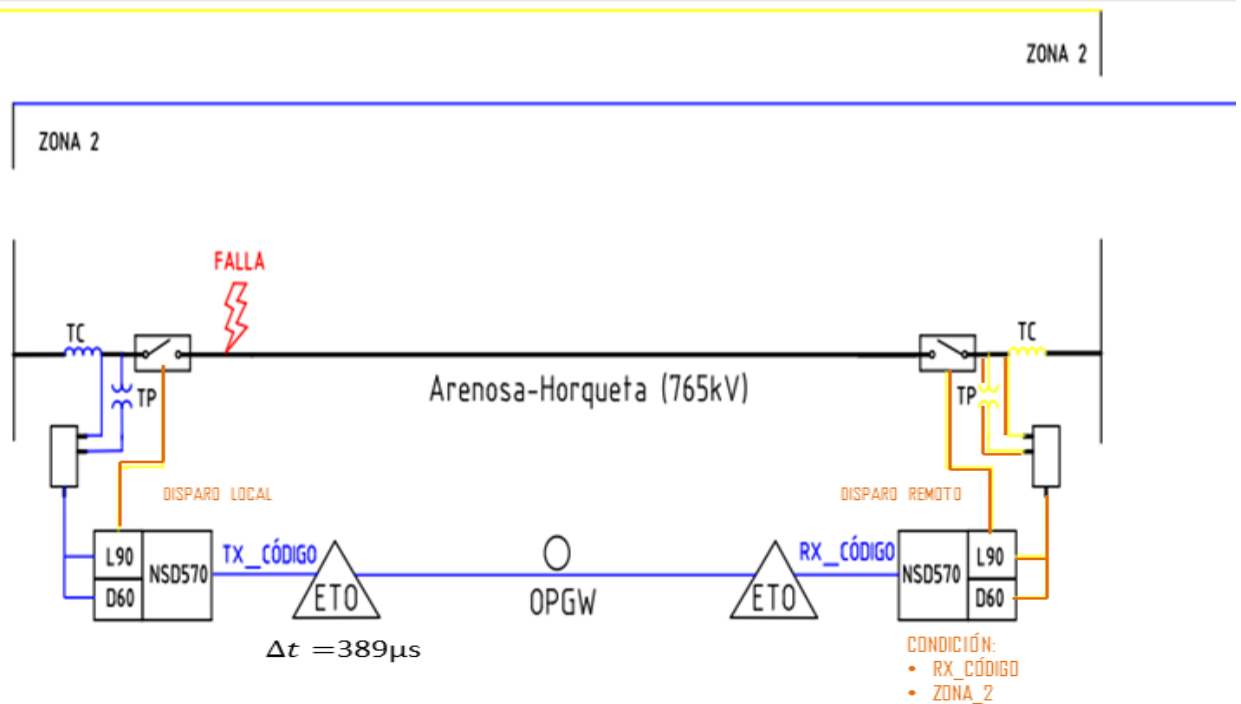


Figura 21. Simulación del funcionamiento del esquema de teleprotección propuesto para la línea Arenosa-Horqueta en 765kV.

Fuente: Herrera A. y Zanotti H. (2019).

Al producirse la falla en el extremo cercano de la subestación Arenosa, el relé la percibe en zona 2 ya que la misma abarca hasta el 120% de la línea, instantáneamente realiza el disparo local y transmite el código de disparo remoto (TX_CÓDIGO) hacia el equipo terminal óptico que se encargará de generar el haz de luz a través de la fibra interna en el cable de guarda, perteneciente a la red de transmisión en estudio. Esta transmisión llega desde Arenosa hasta Horqueta en un tiempo de 389 μ s. El relé ubicado en el extremo remoto de la falla, recibe el código y al corroborarla en su zona 2 ejecuta el disparo instantáneamente, sin necesidad de esperar los tiempos de actuación de sobre-alcance, por utilizar el esquema POTT.

4.4 Fase IV. Estudio de factibilidad para la implementación del diseño propuesto

En vista de la nueva tecnología a instalar, resulta prudente realizar un estudio de factibilidad para la implementación del nuevo esquema de teleprotección, abarcando los aspectos técnicos, operativos, ambientales, sociales y económicos. El éxito de un proyecto está determinado por el grado de factibilidad que se presente en cada uno de los aspectos anteriores.

4.4.1 Aspectos Técnicos

Se propone una mejora del sistema actual con la disponibilidad de tecnología que satisface las necesidades. Existiendo la tecnología que se propone implementar, el trabajo de investigación técnicamente es factible.

4.4.2 Aspectos Operativos

Se garantiza que la utilización de un estándar universal para la teleprotección como lo es el IEC61850, posibilita la interoperabilidad de los equipos y con esto un proceso de modernización progresivo y dinámico. La implementación de equipos que se comuniquen mediante esta norma producirá una notable simplificación de la arquitectura de datos de la subestación, expandiendo las capacidades de supervisión remota y comunicación entre otras subestaciones. El personal calificado para operar en caso de una adecuación del esquema de teleprotección existe en CORPOELEC, por esta razón el proyecto es factible en cuanto a operatividad.

4.4.3 Aspectos Ambientales

Los equipos de teleprotección y los relés digitales propuestos no realizan emisiones directas de CO₂ a la atmósfera. La energía utilizada por los equipos de teleprotección, al igual que las características básicas de la electricidad, es limpia en el lugar de consumo, no huele, no se detecta por la vista y no se aprecia por el oído. De manera indirecta, tiene un impacto positivo en el ambiente, debido que, al reducirse los cortes eléctricos en un sector, gracias a un sistema de teleprotección confiable, se evita el uso de formas alternativas de generación de energía eléctrica como por ejemplo, los motogeneradores que utilizan combustibles fósiles y contaminan el ambiente.

4.4.4 Aspectos Sociales

Socialmente habría un impacto beneficioso con la implementación de la propuesta, la calidad del servicio de la empresa “Corporación Eléctrica Nacional” (CORPOELEC) proveería un mejor servicio eléctrico y respondería las expectativas de sus clientes y trabajadores, contribuyendo así a elevar la calidad de vida de la sociedad venezolana.

Contar con equipos confiables y con un alto porcentaje de dependabilidad influye a un cambio social de implicaciones extraordinarias, por lo que, además de ser un servicio, es una necesidad básica para poder realizar una gran cantidad de actividades en el mundo actual. No hay que analizar acerca de las consecuencias de una interrupción de energía eléctrica para observar con precisión la dependencia de nuestra sociedad de esta forma de energía: las fábricas tendrían que parar sus procesos productivos, no funcionarían los teléfonos, computadoras, internet, semáforos, refrigeradores, equipos médicos, etc. La disponibilidad de esta energía es necesaria y beneficiosa para la sociedad.

4.4.5 Aspectos Económicos

Abarcan los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo la propuesta. Entre los principales componentes se encuentran: Relés digitales, transformadores de corriente (TC) y transformadores de potencial.

Descripción	Costo (por unidad)	Fuente
Relés digitales: General Electric Multilin D60.	19339,99\$	Catálogo de equipos: General Electric https://www.gegridsolutions.com/multilin/catalog/d60.htm
Equipo de teleprotección NSD570.ABB	80654,99\$	Equipos ABB. https://www.electrotecnicareal.com/productos/abb/tiendaonline
Relé digital de protección	4123,54\$	Equipos ABB.

diferencial L90. ABB		https://www.electrotecnicareal.com/productos/abb/tiendaonline
Transformadores de corriente (TC):	3400\$	Plataforma online mayorista: Alibaba.com Site International https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=transformador+de+corriente
Transformadores de potencial	7765,87\$	Plataforma online mayorista: Alibaba.com Site International https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=transformador+de+medicion&viewtype=&tab=
TOTAL	115284,99\$	

Tabla 3. Relación básica aproximada de costos requeridos para la implementación de la propuesta

Fuente: Herrera A. y Zanotti H. (2019).

CONCLUSIONES

Dentro del desarrollo del presente trabajo especial de grado se realiza una propuesta de reingeniería de proyecto asociada a la sustitución de teleprotección de las líneas de transmisión de 765kV operadas por CORPOELEC. Se logró cumplir con éxito los objetivos planteados. El esquema de teleprotección propuesto, está basado en lo estipulado en el estándar IEC61850, donde se recomendó tomar en cuenta la propuesta para la implementación de este esquema particularmente para las líneas de transmisión de 765kV debido que la protección en esta línea se encuentra operando aun con relés electromecánicos; de esta manera se puede aprovechar su actualización para implementar el diseño propuesto.

Se eligió el esquema de teleprotección de transferencia de disparo, en base a una comparación entre las lógicas de operación de los distintos esquemas, mostrando la ventaja del esquema seleccionado. Al culminar el trabajo, se sustenta teóricamente que la implementación de tecnologías digitales brinda una significativa mejora en los niveles de seguridad, selectividad y confiabilidad de las protecciones, ya que dichos dispositivos poseen una alta velocidad de operación y presentan una disminución en los porcentajes de error de actuación con respecto a los dispositivos electromecánicos. Además, debido a sus reducidas dimensiones, se genera una disminución en los espacios físicos requeridos para la implementación de las protecciones, permitiendo instalar en un mismo panel, por ejemplo, al dispositivo de protección junto con su respectivo equipo de teleprotección.

El esquema de teleprotección propuesto, es un esquema de alta confiabilidad y selectividad como resultado de la utilización del disparo permisivo transferido de sobrealcance POTT, cuenta con un canal de comunicaciones con una característica de dependabilidad y seguridad de alto rango, ya que cuenta con el uso de fibra óptica. Asimismo, discrimina entre mensajes en un estado sano y mensajes que hayan sido

alterados a lo largo del proceso de comunicación entre las subestaciones, gracias a la característica informativa del estado de calidad del mensaje.

En general, se propone un sistema que toma como base el estándar IEC 61850 de nivel internacional que tiene un alto grado de reconocimiento por los ingenieros de protecciones. Los relés propuestos para la implementación son relés que se encuentran certificados y dentro del listado de IEEE.

En cuanto a desventajas, la implementación del diseño propuesto representa un alto costo de inversión; y adicionalmente, al hacer uso de fibra óptica se debe tener en cuenta que es un material muy delicado y puede ser dañado con facilidad si no se toman las precauciones necesarias.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se puede concluir que el esquema de teleprotección propuesto no es un esquema de teleprotección convencional, sino que utiliza las nuevas tecnologías que se han ido desarrollando para mejorar la protección utilizada actualmente, sin dejar de lado las bases de la filosofía de protección; además de seguir una normatividad adecuada.

RECOMENDACIONES

Aplicar el trabajo propuesto de reingeniería a las distintas líneas de transmisión de 765kV del Sistema Eléctrico Nacional, con el fin de disminuir el efecto de las fallas y de esta manera mejorar la calidad de servicio eléctrico.

Realizar la adecuación necesaria partiendo de la propuesta realizada a las líneas de transmisión de 400kV, 230kV y 115kV.

Continuar con la implementación del estándar IEC61850 y su aplicación en la teleprotección, debido que posee múltiples aplicaciones y beneficios siendo un estándar con aceptación a nivel mundial que engloba una nueva forma de comunicación entre subestaciones y mejora drásticamente la teleprotección.

Incluir los avances de transmisión de paquete de datos por mensajería GOOSE, lo cual se abarca en la edición 2 del estándar. “IEC61850 Ed.2” el cual continúa en desarrollo y donde básicamente se propone el envío de información entre subestaciones mediante un mensaje de evento de objeto genérico de subestación orientado (GOOSE) y es recomendable para dispositivos electrónicos inteligentes para aplicaciones que requieran transferencia de datos.

REFERENCIAS

- ABB. (2000). *Protection Application Handbook. Transmission System and Substations*
- American National Standard. (1993). *Standard Requirements for Instrument Transformers.*
- Areva (2002). *Network Protection & Automation Guide*. Primera edición.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. 6ta Edición. Editorial Episteme, Caracas.
- Aquino, J. (2013). *Metodología para elaborar la actualización de estudios de coordinación de protecciones de un sistema eléctrico interconectado*. Tesis, Universidad del Callao, Lima.
- Azcunez, A. (1987). *Sistemas de Comunicaciones a través de Líneas de Alta Tensión y su empleo en la Protección de Redes Eléctricas*, Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- Bugarín, A. (2008). Curso *Fundamentos de Protecciones Eléctricas*. General Electric. México.
- Elmore, W. (1994). *Protective Relaying Theory and Applications*. ABB Power T&D Company Inc.
- Enriquez H. (2008). *Elementos de Protección de Sistemas Eléctricos: Teoría y Práctica*. Primera Edición, Limusa.
- Comision Federal de Electricidad (2008). *Características Técnicas para Relevadores de Protección*. CFE, Revisión 080411, Edición abril.
- Committee, I. P. (1997). *Terms Used by Power System Engineers*. USA: Power Engineering Society IEEE.
- Dahlin, T. y Brien, J. (2005). *Selection of Pilot Relaying Communication Channels*.
- Djafar, K. y Lowell, L. (2000). *Fiber-Optic Communications Technology*. Pearson, primera edición.

- Gallegos, G. (2000). *Análisis de Fenómenos que afectan la Protección de Distancia*. Florida, USA: GERS.
- General Electric. (2011). *Training Center. Distance Protection & D60 training*. CD. GE.
- Gerd, K. (2017). *Optical fiber communications*. McGraw-Hill, Tercera Edición.
- Goff, L. y Pitzer H. (2002). *Permissive Transferred Tripping for Line Protection Using type 30 or tri cap* Audio Tones and Electromechanical Relays.
- Granda, K y Yépez J. (2017). *Implementación de mensajería Goose bajo la norma IEC 61850 en relés SEL para esquemas de protección de barra*. Proyecto de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil.
- Hernández, Fernández y Baptista (2004). *Metodología de la Investigación*. Editorial Mc. Graw Hill Interamericana.
- Hurtado, J. (2010). *El proyecto de investigación*. Caracas: Quirón.
- IEEE (2005). *Application Considerations of IEC 61850/UCA 2 for Substation Ethernet Local Area Network Communication for Protection and Control*.
- Ing. López L. e Ing. Marcano I. (2012). *Análisis del Sistema de Comunicaciones Asociado a la Red Eléctrica de la Región Central de CADAFE*. Tesis publicada en la revista de ingeniería “Tekhne 10”, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
- International Electrotechnical Commission. (2011). *International Standard IEC*
- International Electrotechnical Commission. (1987). *International Standard IEC 186*.
- International Electrotechnical Commission. (2017). *Uso y referencia a normas ISO e IEC en la reglamentación técnica*. ISBN 978-92-67-10454-6.
- James A. y Aguilar R. (2011). *Consideraciones para pruebas con IEC 61850*, Boletín 54.
- Ley Orgánica de Telecomunicaciones. (2000). *LOT*. Gaceta Oficial No. 36.920. Concordancia con lo dispuesto en los artículos 187, numeral 1, y 203 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.

- Mason, C. (2007). *The Art & Science of Protective Relaying*. USA: General Electric.
- Mendoza, Agapito (1998). *Protección por Relevadores a Sistemas de Potencia*. Instituto Politécnico Nacional. Primera Edición.
- Mercado, J., Cruz, C. y Lopez, R. (2013). *Evaluación técnica operativa del sistema de comunicaciones OPLAT*. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.
- Mohammad S, Yaoyu W. (2004). *Communication and Control in Electric Power System*.
- Murillo, W. (2008). *La Investigación Científica*.
- Nordell D. (2008) *Substation Communication History and Practice*. IEEE
- Pérez, E. (2008) *Diseño y Optimización de una Arquitectura IEC 61850*. Proyecto de fin de carrera, Universidad Pontificia Comillas, Madrid.
- Rush, P (2002). *Network Protection and Automation Guide* Francia: AREVA.
- Sabino, C. (1996). *Introducción a la metodología de la investigación*. Caracas-Panapo.
- Siemens Energy Automation Sector. (2010). *Aspects on IEC 61850 Edition 2.0 & Current Activities*. IEEE/PES.